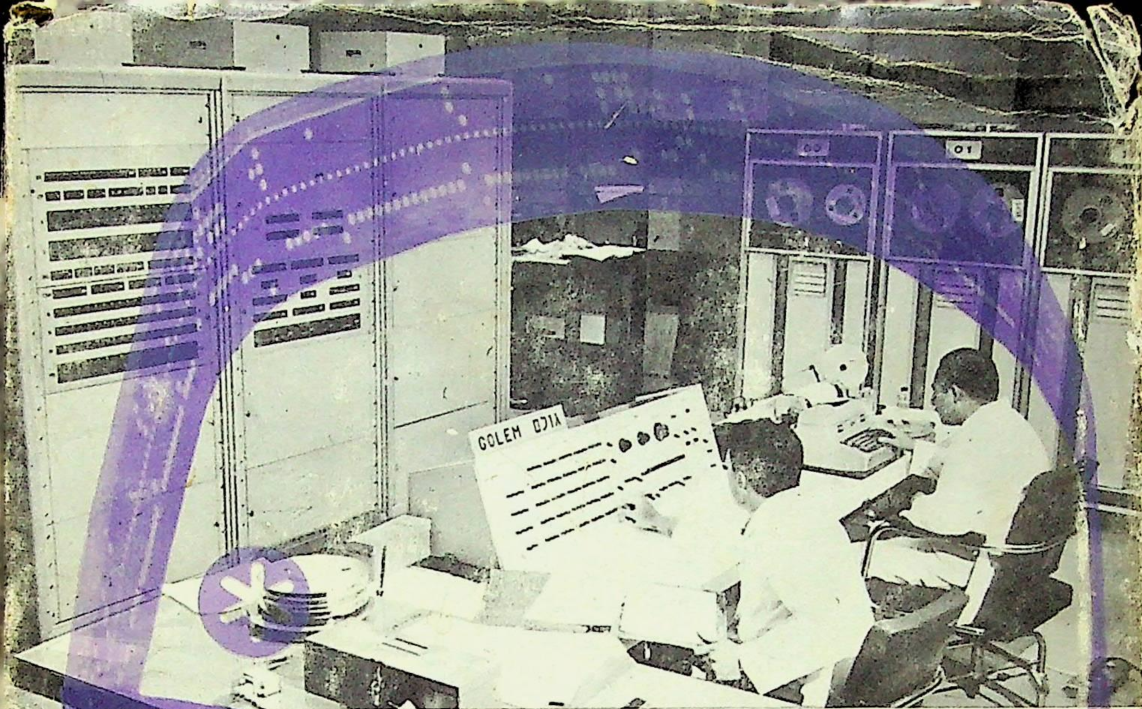


מחשבים אלקטרוניים

כיצד הם פועלים

ג'מס ד. פינסטוק

הוצאת סדן
והמכון לפריון
העבודה והייצור

ספר זה, "מחשבים אלקטרו־ניים", שהוצא לאור בארה"ב והודפס שם במהדורות חוז־רות ומעודכנות מדי שנה, מו־צא לאור עתה בעברית, בשי־תוף עם המכון לפריון העבו־דה והייצור. המערכת המשו־תפת לבית־ההוצאה ולמכון — בחרה לתרגם ספר זה — הראשון בתורת המחשבים ה־רואה אור בעברית — בזכות הבהירות, הדיוק ובזכות הת־אמתו לקהל נרחב של מתעני־נים — המנהל, שמפעלו נעזר בשירותי המחשב; הסטודנט, המתעתד לבחור באחד ממק־צועות עבודת המחשב, ולעובדי הארגון והניהול בדרגים ה־שונים, המתעניינים בעיבוד נתונים אוטומטי.

מחבר ספר זה, מומחה ידוע בתחומי מידע המחשבים, נקט בדרך מיוחדת בתיאור היסו־דות העיוניים והטכניים, בהת־רחקו מהעמקה ומפירוט יתר.

במהדורה העברית נוספו סעיפים רבים ומעודכנים, וכן תמונות, שרטוטים, ובעיקר — הפרק על „המחשבים ביש־ראל". כל זאת במטרה לעדכן את הספר על ידי ההתפתחות הספציפית של משק המחש־בים הישראלי.

בתצלום: מחשב „הגולם". תוכנן, הורכב ומופעל במכון ויצמן למדע, רחובות, לצרכי המכון.

עיצוב העטיפה: גד אולמן.

דפוס ניידט בע"מ

ספר זה, ״מחש
ניים״, שהוצא
והודפס שם ב
רות ומעודכנות
צא לאור עתה
תוף עם המכון
דה והייצור. ה
תפת לבית־הו
— בחרה לתר
הראשון בתורה
רואה אור בע
הבהירות, הדיו
אמתו לקהל נו
נים — המנהל
בשירותי המח
המתעתד לבחו
צועות עבודת ה
הארגון והניה
שונים, המתע
נתונים אוטומ

מחבר ספר זה
בתחומי מידע ו
בדרך מיוחדת
דות העיוניים ו
רחקו מהעמקו

במהדורה ה
סעיפים רבים
תמונות, שרטו
הפרק על „ה
ראל״. כל זאת
את הספר על
הספציפית של
בים הישראלי.

בתצלום: מחשב
הורכב ומופעל ב
רחובות, לצרכי ה

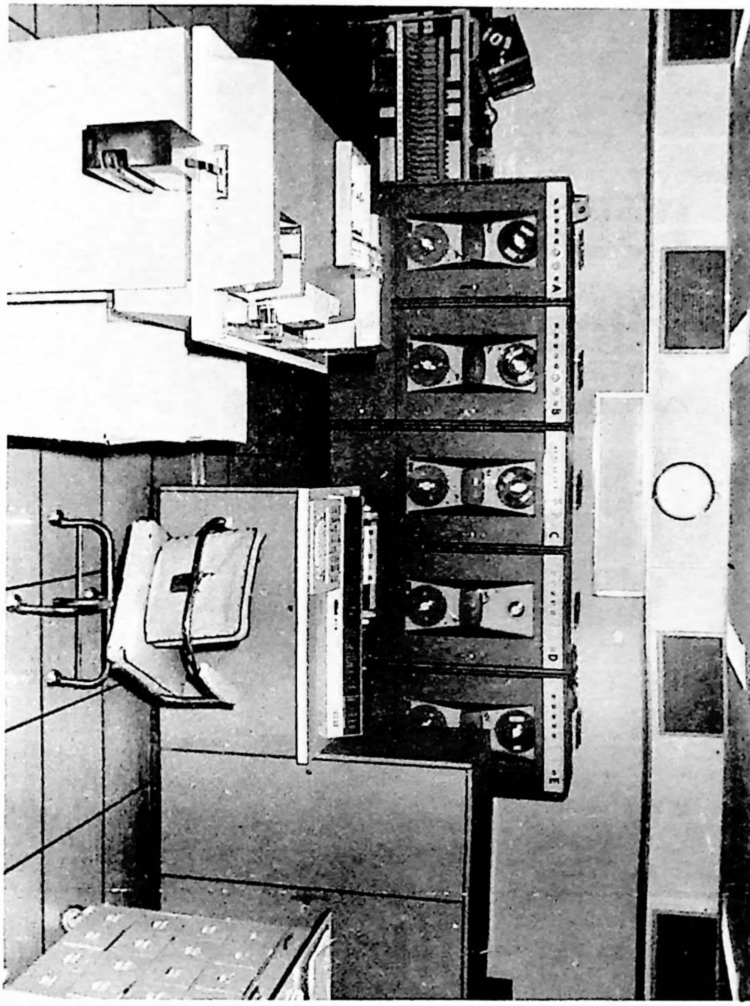
עיצוב העטיפה: גז

דפוס ניידט בע״

ישראל כפיר

מחשבים אלקטרוניים

כיצד הם פועלים



"מערכת אלקטרונית לעיבוד נתונים"

המערכת, שבחלקה נראית בתמונה זו, מורכבת מהיחידות כדלקמן: יחידת עיבוד מרכזית עם זכרון בעל 20,000 תאי זכרון ומערכת הפעלה ובקרה; 7 כונני סרטים מגנטיים; קורא סרטים מנוקבים ומנקב סרטי נייר; קורא כרטיסים מנוקבים; מדפסת שורות מהירה.

תמונת מערכת זו, NCR 315, באדיבות מינהל הכנסות המדינה, ירושלים.

ג׳ימס ד. פינסטוק

מחשבים אלקטרוניים

כיצד הם פועלים

יסודות החשיבה האלקטרונית
ועיבוד נתונים אוטומטי

עברית: אילנה ליכט
עריכה: אריה רונאל

„סדן", בית הוצאה לאור בע״מ
והמכון לפריון העבודה והייצור

JAMES D. FAHNESTOCK

Computers and How They Work

published by
A. S. Barnes & Co. Inc. U.S.A:

Sadan Publishing House Ltd.
P.O.B. 16096, Tel-Aviv, Israel

„סדן", בית הוצאה לאור בע"מ
תל-אביב, רח' קרליבך 25, טל' 35609

דפוס נוידט בע"מ

הקדמה

רבים מדמים את המחשב האלקטרוני למפלצת מסובכת, אשר נבנתה ומופעלת ע״י גאונים. מתוך אי־הבנה מפליגים בגוזמאות ומייחסים לו תכונות של אשף כל־יכול, מעין מוח על־אנושי. משום כך, מתוך הרגשה של חוסר־אונים, מדכאים הם את סקרנותם לגבי תחום חדש זה.

ספר זה נכתב כדי להוכיח, כי תורת המחשב, ניתנת להבנה ע״י כל אדם, ואין היא תעלומה מעולם המסתורין ; יתר על כן, האנשים המתכננים, בונים ומשתמשים במחשבים הם אנשים רגילים, כמוני וכמוך, שיתרונם הוא — הכשרתם, אליה ניתן, בהחלט, להגיע.

ספר זה מיועד, לכן, לצבור הרחב, הבא במגע עם תוצאות עבודת המחשב, או הצמא לספק סקרנותו לתורת המחשב, אותה „המכונה״ המשנה את פני החברה והעתידה לחולל שינויים מרחיקי־לכת בחיי האדם.

מהו, אם כן, המחשב ?

למעשה, אין המחשב אלא צירוף של התקנים, פשוטים יחסית, המסודרים ביחסי־גומלין הדדיים, כדי לבצע עבודות מסוימות, המוטלות עליו ע״י אנשים רגילים, שהוכשרו לכך.

המחשב האלקטרוני הוא, אם־כן, התקן לעיבוד ידע. הוא מגביר, איפוא, את כוח מוחו של האדם כשם שמכונות אחרות, מעשי ידי אדם, מגבירות את כוח שריריו. כמו האדם כן המחשב מבטא ידיעות במונחים של סמלים ; סמליו של האדם הם אותיות ומספרים ואילו סמליו של המחשב הם פעימות אלקטרומגנטיות המייצגות אותיות ומספרים. אף שהאדם הוא המורה למחשב כיצד לעבד את הידיעות הנחוצות לו — בולט יתרונו של המחשב ביכולתו לטפל בסמלים במהירות גדולה (פי מיליונים) מאשר השימוש בניר ובעיפרון. המחשב גם יכול לעשות בדיקות וחישובים, אשר היו דורשים מהאדם מאות שנות חיים.

רוב הבעיות הנמסרות למחשב הן אלגוריתמיות, כלומר בעיות שדרך הפתרון שלהן מוגדרת ומובילה באופן בלתי נמנע לתוצאה. כדוגמות לבעיות אלה יכולים לשמש חשבונות ללקוחות, מש־וואות מתמטיות וכד׳. נכון הדבר כי המחשב נראה מסוגל לבצע רק את אותם דברים שאנו יודעים כיצד להורות לו לבצע. למרות זאת, מכיון שהוא מסוגל לבצע התניות, יש להניח כי אנו יכולים להורות לו ללמוד מנסיונו. פרופסור הרברט א. סימון ממכון קרנגי לטכנולוגיה ואחרים, הצליחו לעשות זאת. פרופ׳ סימון הוכיח, לשביעות רצונם של מדענים רבים, כי אפשר להורות למחשב לפתור בעיות שלא הוגדרו כהלכה, מסוג הבעיות בהן אנו נתקלים יום יום.

בכתיבת ספר זה נעשה נסיון מירבי להביא את הקורא לידי הבנת מחשב ועיבוד נתונים אוטומטי, מבלי לוותר על הדיוק הטכני. הספר דן בכל השטחים העיקריים של טכנולוגית המחשבים. שטחים מסוימים מפורטים יותר משטחים אחרים, בהתאם לענינו של הקורא הממוצע.

ייתכן כי תוך כדי קריאת הספר, ימצא הקורא לנחוץ לבקר במתקן של מחשב; לחברות רבות יש חדרי תצוגה לסיורים מודרכים עבור הקהל הרחב.

החומר הטכני שבספר זה, שאינו הכרח לאיש מינהל, נועד להיות מבוא לטכנאי או לאדם בעל הכשרה תיכונית בפיזיקה, המעונין לעבוד בתחום המחשבים.

בכתיבת הספר שימשה רעיתו של המחבר כשפן נסיון. כל קטע נכתב פעמים אחדות, עד אשר ענה על דרישות הבהירות וההבנה להדיוטות.

המחבר מודה ליצרנים הרבים אשר תרמו לספר זה, בנדיבות, אינפורמציה טכנית וחומר תיאורי. בכך הדגימו את רוחה של תעשיה צעירה זו, המאמינה בעתידה ובקידומה.

המחבר

הקדמה למהדורה העברית

ספר זה, „מחשבים אלקטרוניים״, שהוצא לאור בארה״ב והודפס שם במהדורות חוזרות ומעודכנות מדי שנה, מוצא לאור עתה בעברית, בשיתוף עם המכון לפריון העבודה והייצור. המערכת המשותפת לבית־ההוצאה ולמכון — בחרה לתרגם ספר זה — הראשון בתורת המחשבים הרואה אור בעברית. — בזכות הבהירות, הדיוק ובזכות התאמתו לקהל נרחב של מתעניינים — המנהל, שמפעלו נעזר בשירותי המחשב; הסטודנט, המתעתד לבחור באחד ממקצועות עבודת המחשב, ולעובדי הארגון והניהול בדרגים השונים, המתעניינים בעיבוד נתונים אוטומטי.

מחבר ספר זה, מומחה ידוע בתחומי מידע המחשבים, נקט בדרך מיוחדת בתיאור היסודות העיוניים והטכניים, בהתרחקו מהעמקה ומפירוט יתר. במהדורה העברית נוספו סעיפים רבים ומעודכנים, וכן תמונות, שרטוטים, ובעיקר — הפרק על „המחשבים בישראל״. כל־זאת במטרה לעדכן את הספר על ידי ההתפתחות הספציפית של משק המחשבים הישראלי.

מערכת המהדורה העברית מבקשת להודות לרב־סרן ד׳ גרנות .M.Sc, שקרא את כתב־היד והעיר את הערותיו, למר אריה רונאל, מנהל המדור לאוטומציה ומערכות במינהל, במכון לפריון העבודה והייצור, שערך את הפרק על „המחשבים בישראל״, ליווה את הפעולה להוצאתו לאור של הספר מראשיתה, ולא חסך מזמנו כדי לסייע בהתקנת כתב־היד לדפוס.

כן הננו מודים לכל אלה שסייעו בחומר־עזר ובתצלומים מעודכנים: מכון ויצמן למדע, הטכניון, ממר״ם, נציגי חברת י.ב.מ., חב׳ נ.סי.ר., חברת סי.די.סי, חברת אלביט, וחברת בורוז — בישראל.

תל־אביב, אוקטובר 1967 — מערכת המהדורה העברית

8. מחשבים אנלגיים

9. מערכת איסוף נתונים

10. המחשבים בישראל

מבוא

חיפושו המתמיד של האדם אחרי אמצעים החוסכים עבודה, הביא לגילויים של מכשירים שימושים רבים — החל מן המנוף והגלגל עד לרתימתו של הכוח הגרעיני ועוד ידו נטויה.

המצאות אלה הקלו על עמלו הפיזי של האדם ואיפשרו לו לבצע משימות אשר קודם לכן היו מעבר ליכולתו. הן העניקו לו מהירות רבה יותר הנותנת בידיו זמן רב יותר להנות מרמת חיים משופרת.

כשם שגדלה יכולתו הפיזית של האדם על ידי אמצאות מכניות, הגבירה אמצאתו של המחשב האלקטרוני את הכשרים המנטליים שלו. הכנסתו של המחשב האלקטרוני לשימוש שיחררה כוחות חשיבה רבים מבעיות בלתי פתורות ואף פישטה וזירזה את פתרונותיהן של בעיות אלה.

ההתפתחות המדעית היא, איפוא, תהליך שאין לו קץ. אמצאה אחת מובילה לאמצאה אחרת, וזו שוב לאמצאה חדשה. עידן המחשבים האלקטרוניים רק החל. בזמנו היה המנוע דבר יוצא דופן. עתה יש למשפחות רבות מכונית, מכסחת דשא, ומכשירים אחרים חוסכי עבודה, המופעלים על ידי מנועים — שגם ההוגים המשופעים בדמיון, לא חלמו עליהם עדיין.

למרבה הצער, יוחסו למחשבים אלקטרוניים מעשי להטים כה רבים, עד כי השתררה מבוכה לגבי השאלה, מה יכולים מחשבים אלקטרוניים לעשות ומה אינם יכולים לעשות.

פרסום נלהב מדי ולהיטותם של סוכני מכירות, אשר ניסו ללכוד

למרות שמחשב אלקטרוני הוא, כפי הנראה, המסובך מכל המצאות האדם — הנה, פשוט הוא להבנה. יכול הוא להכיל בקרבו מאות רבות של חלקים — אבל, יחסית, סוגים מעטים של מעגלים.

המעגלים משמשים אבני בנין. במחשבים אחדים יש רבים כאלה ובאחרים — מעט. במחשבים אחדים נמצאים כל הסוגים האפשריים של מעגלים, ואילו באחרים — רק הפחות יקרים, כדי להוזיל את העלות הכוללת של המחשב. מטרתו של ספר זה להכיר לקורא, שאינו מקצוען, את התפקידים ודרכי הפעולה של אבני הבנין היסודיות של מחשב, ולהראות לו כיצד משתמשים בהם, בצירופים שונים, כדי לחולל את הניסים המודרניים של חשיבה אלקטרונית.

1

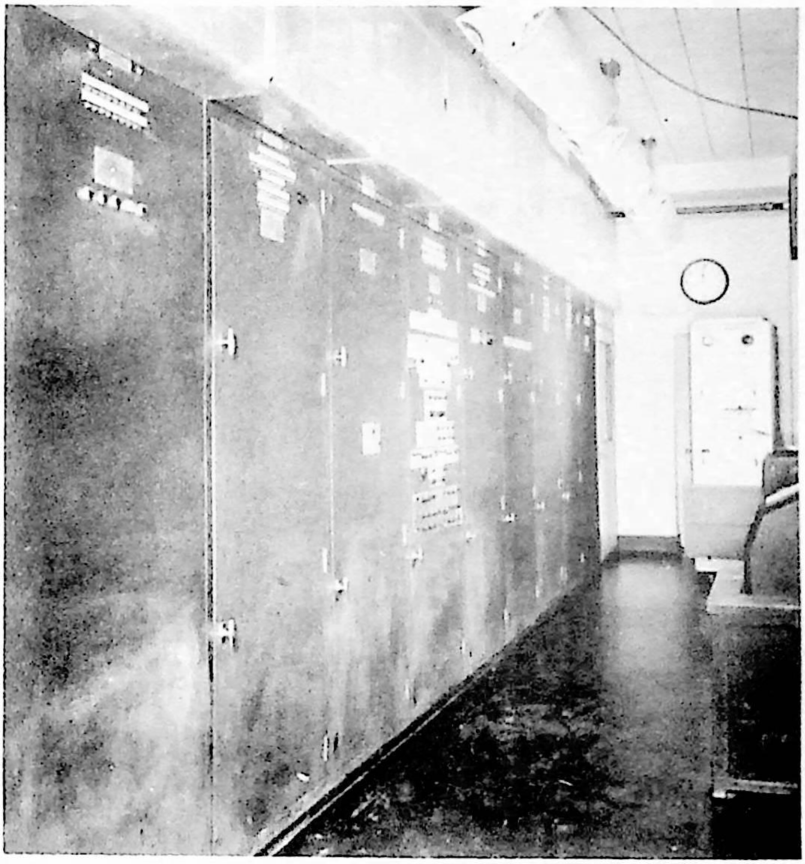
מה עושים מחשבים אלקטרוניים

„ובכן, מה בדיוק עושים מחשבים אלקטרוניים?" לעתים קרובות מוצגת שאלה בנוסח כזה, לאנשים העובדים בשדה המחשבים. התשובות לשאלה — שונות ומגוונות. הן תלויות בהשכלתו של השואל, בדרגת התענינותו ובזמן הנתון לתשובה.

אפשר להשיב על שאלה כזו בקצרה ולאמר כי מחשבים מחברים, מחסרים, כופלים ומחלקים, בפיקודו של האדם המפעיל אותם. תשובה נכונה זו, חסרה פירוט ואינה מספקת אפילו לאדיש ביותר שבשואלים. את התשובה המפורטת ביותר, המקצועית, ניתן לקבל בלימוד שיטתי של הנושא במכללה.

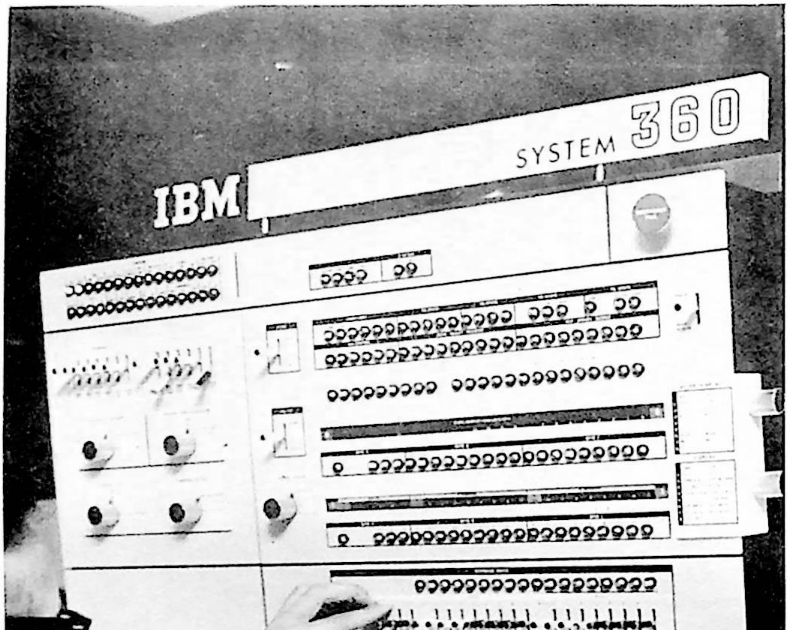
ספר זה נכתב כפשרה בין שתי אפשרויות קיצוניות אלה. הקורא ימצא בו את כל השלבים של חשיבה אלקטרונית, מפורטים במידה מספקת להכרת מחשבים, סגולותיהם ומיגבלותיהם. מאידך, לא ייעשה הקורא, ע"י ספר זה, למתכנן מחשבים; אף שיכיר את הבעיות הניצבות בפני המתכנן ויהיה מסוגל להעריך התפתחויות וטכניקות חדישות, המופיעות חדשות לבקרים בתחום זה.

נחזור לשאלה אשר בראש הפרק וננסה להשיב עליה. במובן רחב אפשר לומר כי מחשבים מסוגלים לשמוע, לזכור, לדבר ולבצע פעולות חשבון. מחשבים אף עושים רושם כאילו הם חושבים, אבל אין הם

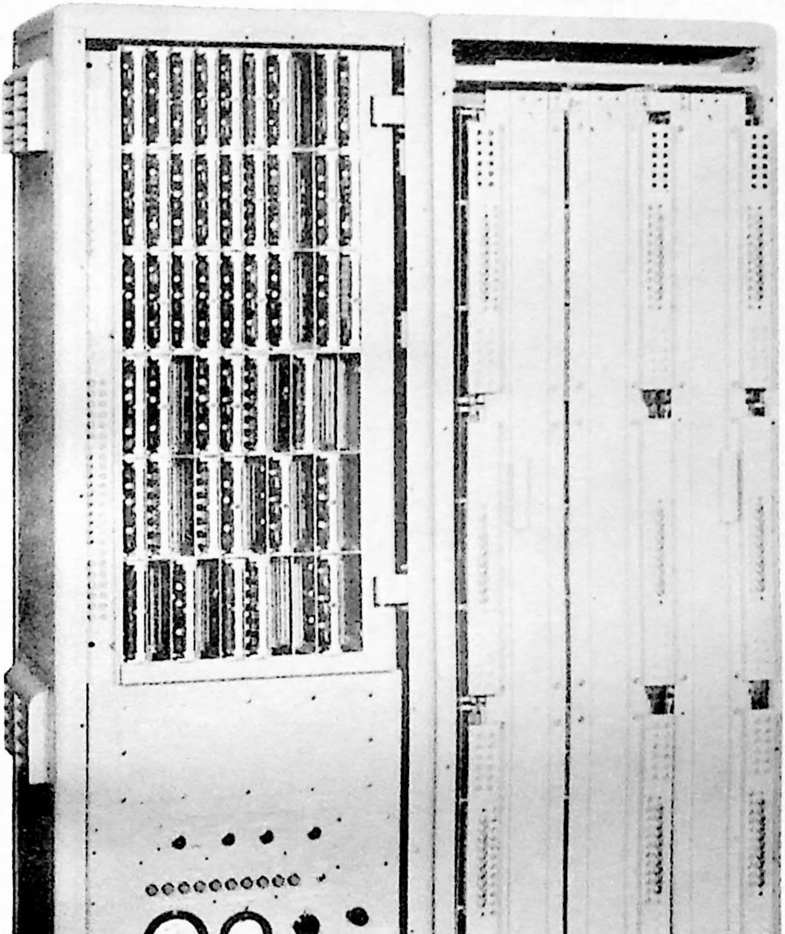


ציור 3—1. המחשב EDVAC טיפוסי למחשבים האלקטרוניים הראשונים. הוא הותקן במעבדות המחקר הבליסטי במדינת מרילנד בארה״ב.

אין אף שמץ של מיסתורין באופן בו מחשבים פותרים בעיות. אין גם הכרח שהבעיה תהיה מסובכת לאין שיעור כדי שתצדיק פתרון באמצעות מחשב אלקטרוני. הודות למהירות העצומה והרציפות האו־טומטית של פעולותיו, מסוגל המחשב האלקטרוני לבצע את הפעולות הנדרשות לפתרון הבעיה המוגשת לו, במהירות ובדיוק. יכולת זו מאפשרת למשתמשים לחסוך גם זמן וגם כסף.



ציור 4—1. מחשבים ספרתיים גדולים מופעלים באמצעות לוחות בקרה. הנורות והכפ־תורים שבלוחות מאפשרים למפעיל להשגיח על פעולת המחשב ולבדוק את המצב בחלקים שונים של המערכת. בתמונה — מחשב י.ב.מ./360 דגם 40, המותקן במקומות אחדים בארץ.



ציור 5—1. מחשבים אחדים מיועדים לפתרון בעיות מסוימות בלבד. המחשב Stardec המוצג בתמונה, מסייע להנחית טילים הנשלחים מתחת לפני המים, במעופם מעל לאטמוספירת האדמה. (Epsco, Inc.)

של הנושא הנבדק (כמו חום, מתיחות, תנועה, לחץ וכד'), באמצעות מדידת מתח וזרם. המהנדס או המדען, העורך את הבדיקה, יכול לעשות אך שימוש מועט במספרים המתקבלים, מכיון שהם מבטאים רק גדלים של זרם ומתח. הוא מעונין ביחידות המידה האפייניות לנושא הנבדק, כגון מעלות צלזיוס, ק"ג לסנטימטר מרובע, מטר לשניה, או יחידות הנדסיות אחרות. יש, איפוא, צורך להסב את הוולטים והאמפרים הנמדדים על ידי אמצעי המדידה, לצורות שימושיות. הסבות כאלה עשויות להיות פשוטות מאד, אבל לעיתים קרובות הן מסובכות מאד. על כל פנים, כאשר הבדיקה או הניסוי כרוכים במדידות רבות, המחשב האלקטרוני הוא פתרון אידאלי לבעית ההסבה.

מחשבים בתעשיה האוירית

דוגמאות טיפוסית לשימושים כאלה בתחום המחקר, היא תעשיות המטוסים והטילים. בראשיתה של תעשית המטוסים היו למטוס, יחסית, מעט חלקים נעים. רוב החלקים הנעים נראו ממושבו של הטיס. בדרך כלל היה זה הטיס שהעריך את כושר הביצוע של המטוס. הוא עקב אחרי אמצעי הבקרה שלו והעריך את ביצועם על סמך התרשמות. לעתים קרובות היה הטיס גם המתכנן והבונה של המטוס. הוא יכול היה, לכן, להכניס שינויים מתאימים אחרי הנחיתה (אם נחת בשלום). כמו כן יכול היה להסביר את ממצאיו לבוני המטוס, אשר היו בעקבות הסבריו מקצצים או מוסיפים משהו, עד אשר היה הטיס שבע רצון.

כאשר גדלו ניפחו ומורכבותו של המטוס, היה הכרח לנטוש את הטכניקות של „הכה והחטא". פותחו מכשירים אשר נתנו לטיס עדויות שוטפות על חום המנוע, מהירות האויר, שיעורי הגבהה והנמכה, רום המטוס, המצב התפעולי של המנוע ועוד. טיס הניסוי רשם בקצרה על גבי לוח שהיה מונח על ברכיו את קריאות המכשירים, ובגמר טיסת הניסוי פיענח את רישומיו למתכננים ולמהנדסים. במטוסים משוכללים יותר הוצבו מצלמות שצלמו את לוחות המכשירים בהפסקות קצובות או לפי הוראות הטיס. בזה נעשה צעד נוסף קדימה באיסוף הנתונים. הממונים על החישובים והניתוח קיבלו אינפורמציה בעלת משמעות רבה יותר.

התקדמויות נוספות כללו פיתוח ציוד רישום קומפקטי קל־משקל להסבת הרישומים לשפת מחשבים, בשביל עבוד נתונים מהיר. לאחר

מכן החלו לערוך מדידות מרחוק באמצעות גלי רדיו (radio telemetry) אשר הצעידו את תעשית המטוסים והעבוד האלקטרוני של נתונים צעד מקרב נוסף.

מהנדסים ומדענים הכירו בהתקשרות הבלתי נמנעת של שני תחומים אלה, אלא שהיה ביניהם מחסום לשוני. המערכת הטלמטרית מסרה את תוצאותיה בצורת קוים גליים על ניר — ואילו המחשב דרש מספרים.

בן־לילה הופיעו בשוק מכונות אשר איפשרו למפעילים מיומנים לתרגם קוים גליים אלה לכרטיסים מנוקבים המתאימים לקליטה במחשב. אלא שגם במקרה זה היה האדם צואר בקבוק בהעברת הנתונים למחשב. תוצאות של בדיקות שנמשכו שניות אחדות, התקבלו שעות ולעיתים ימים — לאחר גמר הניסוי.

את מקומו של הניר המשורטט בקוים גליים תפס סרט רישום מגנטי. מחשבים מהירים יכלו לפענח רישומים על סרט מגנטי ובזה הושגה התקדמות נוספת לקראת עבוד נתונים אוטומטי.

היום ישנן בשימוש מערכות שהן לגמרי אוטומטיות, החל מהפלט של מכשירי המדידה הנישאים במטוס ועד לתוצאות המתקבלות מהמחשב, הערוכות בצורת טבלה או משורטטות בתרשים.

בנסוי מטוס גמור יכולים, אם כן, מחשבים לעזור למתכננים לצפות מראש תקלות ולאשר את חישובי התכנית התיאורטית.

מחשבים ממלאים תפקיד חשוב גם בעיצוב המבנה לפני הטיסה ובבדיקות המנוע. הם גם עוזרים בחישובים הקשורים בעבודת התכנון המוקדמת.

טילים ולווינים

תשומת לב רבה מצד הציבור, הופנתה בשנים האחרונות, לשמושים השונים במחשבים אלקטרוניים במחקר של טילים מונחים, לווינים וספינות חלל. כלי תנועה אלה שונים מבחינות רבות מכלי התנועה הרגילים; לדוגמה, מבחינת שיטת הניווט. פעולת הניווט כשלעצמה איננה יותר מאשר קביעת הכיוון של הכלי הנע ופקוח עליו על ידי בדיקת מקומו בפרקי זמן שונים במשך מסעו.

על מקומו של הכלי אפשר לפקח בכמה דרכים. דרך אחת היא, מעקב אחר ספינת החלל, מן האדמה. דרך אחרת — הסתכלות במכשירים הנישאים בתוך הספינה. שיטה נוספת היא התבוננות בכדור־הארץ

מספינת החלל. המעקב על ספינת החלל מכדור הארץ מוגבל, מכיון שהמרחק אליו מגיעות ספינות החלל, ביחס לכדור־הארץ, עולה על טווחי העיקוב, הן של הראדאר המשוכלל ביותר והן של מערכות עיקוב אופטיות. מחשבים עוזרים להגדיל את טווח העיקוב מהארץ ע"י קישור אלקטרוני של סדרת נקודות תצפית. הדבר נעשה כך, שנקודת תצפית אחת תופסת באופן אוטומטי את ספינת החלל ברגע שהספינה עוברת את תחום העיקוב של הנקודה הקודמת בסדרה. חישובים כאלה כרוכים בפעולות מסובכות באופן מיוחד, ומכיון שספינות חלל נעות במהירות עצומה ואינן יכולות לחכות, הכרחי שהחישובים ייעשו כהרף עין.

באמצעות שימוש בסוגים מסוימים של ראדאר וטכניקות אלקט־רוניות אחרות, יכול מטוס או טיל לעקוב אחר כדור הארץ. בשיטת עיקוב כזאת משמש המחשב האלקטרוני לשמירת נתונים על התצפיות הרצופות ולחישוב מקומו של הטיל או המטוס, במשך טיסתו, לפי נתוני התצפיות. במערכות עיקוב כאלה עלולים להתגלות ליקויים בתיפקוד ושגיאות עקב תנאים חיצוניים, כמו דחיסות ותנאים אטמוספריים.

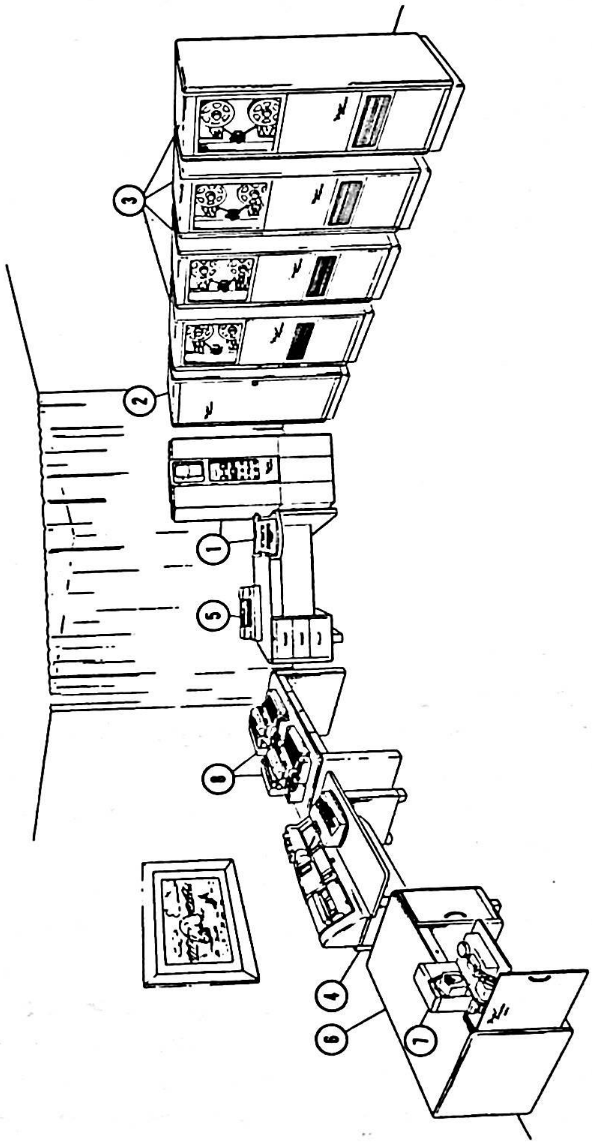
מחשבים להנחיה מתמדת

עקב הסיבות שתוארו לעיל, נעשה הפיקוח על נתיב הטיסה של ספינות חלל לטווח רחוק — בשיטה הנהוגה של הנחיה מתמדת (inertial guidance) שיטה זו לשמירת נתיב הטיסה, בנויה, כמעט בשלמותה, על חישוב אלקטרוני בתוך ספינת החלל.

בשיטה זו נושאת ספינת החלל (או הטיל או הלווין) אמצעי חישה (sensing) המסוגלים לגלות ולמדוד בדיוק, שינויים במהירות התנועה. תפקיד המחשב בשיטה זו הוא, לעבד את תוצאות המדידות ביחס לנקודת המוצא או לנקודת היעד של הספינה, ועל ידי כך ליצור אינפורמציה על מקומה היחסי של הספינה וכן אינפורמציה על מהירות תנועתה וכיוונה.

בעזרת מתמרים (transducers) מתאימים (התקנים להסבת ידיעות מצורת ביטוי אחת לצורת ביטוי אחרת. במקרה זה, המרת תאוצה לאנלוגים חשמליים או מספרים ספרתיים), יכול המחשב לקבוע מהירות, כיוון ומקום. כמו כן יכול הוא להשתמש באינפורמציה שנוצרה בדרך זו לפיקוח על דרך פעולתו הוא.

מערכות הנחיה מתמדת (inertial guidance systems) נושאות



ציור 6 - 1. ההסבר בעמוד 17.

עמן מכשיר מיוחד אשר כיוונו הפיזיקלי מבוקר באופן גירוסקופי. מכשיר זה משמש בסיס התיחסות למתמרי התאוצה. למחשב יש, איפוא, גם האינפורמציה וגם היכולת הדרושות לתיקון מיידי של כיוון הטיסה של הטיל. נתיב הטיסה נמסר למחשב מראש ובמשך הטיסה עורך המחשב השואה מתמדת של הכיוון הרצוי עם הכיוון המעשי, המחושב לפי האינפורמציה של המתמר. הטיל מונחה אם כן ליעדו המוכתב, ללא השפעה חיצונית.

השימוש במחשבים בטילים מונחים, אינו מסתיים במחשב המנחה. דרושים מחשבים נוספים כדי לחשב אינפורמציה על מקומו של הטיל בדיוק מופלג, כדי למסור למחשב המנחה מהי נקודת המוצא שלו.

הדוגמאות שהוצגו על האופן בו משתמשים במחשבים בתעשית המטוסים והטילים הן טיפוסיות לשימושים מעשיים במחשבים בכל ענפי התעשיה. מחשבים חדלו להיות מנת חלקם של חברות גדולות בלבד. חברות גדולות וקטנות כאחד מפיקות עתה תועלת מחישובים אלקטרוניים. השימוש בהם יוסיף בודאי להתרחב מכיון שתעשית המחשבים נכונה לענות גם על דרישות של משתמשים שצרכיהם מגוונים ומיוחדים.

שימושים יוצאי דופן במחשבים

כדי למשוך תשומת לב לסגולותיהם המפתיעות של מחשבים, הטילו עליהם תפקידים רב־צדדים רבים. משתמשים בהם לחיזוי תוצאות מירוצי סוסים, ותוצאות בחירות. מחשבים משחקים במשחקים כמו, שחמת ודמקה ואף משמיעים מוסיקה (על ידי ניצול העובדה שפעולות מסוימות של המחשב יכולות לחולל צלילים נשמעים). בכל השימושים האלה פועל המחשב לפי פקודות האדם המפעיל אותו. ההפעלה יכולה

ציור 6—1. גם מחשבים הנחשבים „קטנים" עשוים להפוך ל„גדולים" בכושר עבודתם על ידי שילוב ציוד עזר נוסף. המחשב הבסיסי Bendix G15 כולל (1) מכונת כתיבה לקלט, פלט ובקרה, מכונה לניקוב סרט ניר ומכונה לקריאה פוטואלקטרית של סרט ניר. ציוד העזר מכיל: (2) מתקן לניתוח ספרתי של משוואות דיפרנציאלית (3) יחידות סרטים מגנטיים (4) מכונה למיזוג כרטיסים מנוקבים (5) מתווה גרפים (6) מכשיר עזר לנתונים אלפנומריים (7) מכונה לקריאה ולניקוב של סרט ניר ו-(8) מכונת כתיבה חשמלית עם מנגנון לקריאה ולניקוב של סרט ניר Flexowriter.

להיעשות באופן ישיר (לחיצה על מתגים ומקשים) או באופן עקיף, כלומר ע"י תכנית מעשה ידי אדם, שהוכנסה למחשב. אף שסוכני פרסום ותכניתנים זריזים יכולים להציג את המחשב, במקרים כאלה, כאילו הוא פועל מתוך יוזמה משלו.

במחשבים משתמשים אף לתכנון מחשבים. כאשר מספקים למחשב המתכנן ייצוג מתמטי של כל יחידה בסיסית ושל כל בעיה שהמחשב המתוכ־נן צריך לפתור, יכול המחשב המתכנן, באמצעות תכנית מתאימה, להכתיב במהירות את הצירוף האופטימלי של יחידות בסיסיות הנתונות, הדרוש להשגת התוצאה המבוקשת. אחדים מיצרני המחשבים הגדולים, הגיעו לשכלולים כה מתקדמים בשטח זה, עד כי העובדים העוסקים בחבורי המרכיבים השונים, עובדים ישירות לפי קובץ הוראות המודפס על ידי המחשב המתכנן. הבדיקה נעשית רק לאחר גמר בניתו של המחשב החדש, מפני שלמחשב יכולת דיוק גדולה יותר מאשר לאדם.

שימושים אחרים

בשדה האנרגיה האטומית יש לשמור על תחום סטיה קטן ביותר במהירויות עצומות. בשטח זה, יש איפוא, למחשבים שמוש נרחב. באמצעות מערכת שבמרכזה מחשב מהיר אפשר לפקח על פעולתו של כור אטומי באופן מתמיד. תוצאות החישובים של המחשב מתקבלות, בשימושים כאלה, בצורת אותיות־בקרה המסוגלות לשמור על פעולות הכור ברמה אופטימלית של יעילות, לצפות הפרעות ולחולל נהלי תיקון אוטומטיים, כאשר הדבר נדרש.

השירותים הציבוריים (מים, חשמל וכד') משתמשים במחשבים לצורך אופטימיזציה של מערכות האספקה. מהנדסים משתמשים במחש־בים לתכנון גשרים ודרכים, לחישוב ישור שטחים לכבישים וכן לחי־שובים אחרים חשובים אשר דרשו קודם לכן זמן רב.

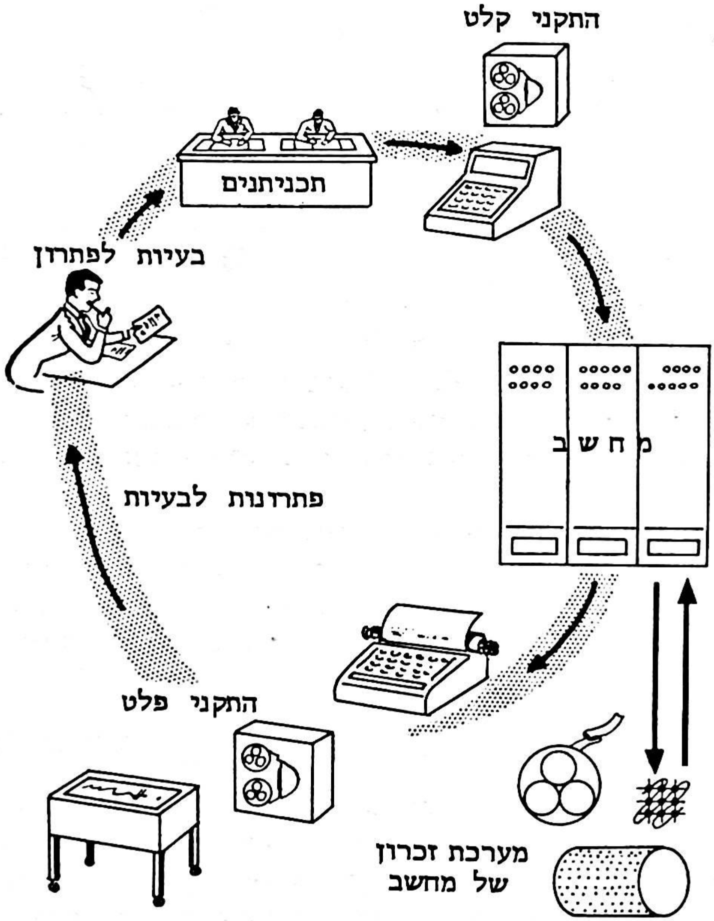
בתעשיות הכימיה והנפט מזרזים את הניתוחים הספקטרומטריים בעזרת מחשבים אלקטרוניים. בתי זיקוק ענקיים מתוכננים ונבדקים באמצעות מחשבים אלקטרוניים לפני שמניחים יסוד לבניתם.

מחליפי חום (heat exchangers) עם צינורות וחלקים אחרים של מערכות בקרה אוטומטיות ליצור, מתוכננים באמצעות מחשבים. ולבסוף, מחשבים משמשים לבקרת תהליכי ייצור תוך כדי יצור, במטרה להבטיח את אחידותם, לשפר את איכותם ולהמעיט את הבזבוז בהם.

בכל מקום שאפשר, מוצב המחשב בחזית הרצויה למשתמשים בו. הבעיות מנותבות למחשב בדרכים רבות אך בדרך כלל מוגשות לו בזו

אחר זו. התוצאות מתקבלות ביחידות הפלט של המחשב ויש להפיצן בין המשתמשים השונים.

ציור 7—1 מתאר את זרימת האינפורמציה במערכת טיפוסית של מחשב. הזרימה מתחילה ומסתיימת אצל האדם המחולל את הבעיה.



ציור 7—1. זרימת אינפורמציה במתקן מחשב טיפוסי, מוצגת בצורה מפושטת. מחולל הבעיה מעביר אותה לתכניתן, אשר מכין פקודות ונתונים בשפת מחשב, תוך שימוש בציוד קלט מתאים. המחשב מבצע את התכנית של התכניתן, תוך שימוש בציוד זיכרון מתאים (תופים, טבעות מגנטיות, סרטים מגנטיים ועוד), ומעביר את התוצאות המבו־קשות לציוד פלט, כמו מדפסת מהירה, סרט מגנטי או מתווה (plotter). התוצאות מוחזרות למחולל הבעיה.

2

שפת מחשבים

למונח ש פ ת מ ח ש ב י ם יש משמעויות אחדות. לאיש המחשב פירושו צירוף של זרמים מגנטיים או חשמליים מוגדרים או נקבים בסרט נייר או בכרטיסים. במובן זה מתיחס המונח לביטוי פיזיקלי של אינפורמציה, אותו יכול המחשב ל ק ר ו א ולהבין.

בשימוש אחר של המונח מתכוונים לאורח הדיבור המיוחד, הנקוט בפי האנשים הפועלים בתחום המחשבים. למרות ששפתם המיוחדת של אנשים אלה מורכבת ממלים וממשפטים מוכרים, היא עלולה להיות זרה לאזנו של הדיוט, כשם שהמלה המדוברת זרה למחשב.

אינפורמציה לעומת נתונים

אחד המושגים הלשוניים הקשים ביותר, בהם משתמשים בתחום המחשבים הוא א י נ פ ו ר מ צ י ה. מונח זה והמונח הנרדף נ ת ו נ י ם, משמשים לציון עובדת קיומן של ידיעות. ידיעות אפשר לבטא בצורות רבות, ואמנם כך הדבר בתחום המחשבים. אחת מצורות הבטוי המקובלות ביותר היא כמות. אם אנו יודעים מה גודלו של חפץ, יש לנו אינפורמציה כמותית עליו.

מהנדסים, מדענים, אנשי עסקים, עקרות בית ולמעשה, אנשים בכל אורחות החיים, עושים שימוש קבוע באינפורמציה כמותית. באמצעות מערכת משוכללת של יחידות מידה, מגדירים אנשים כמויות כגון משקל,

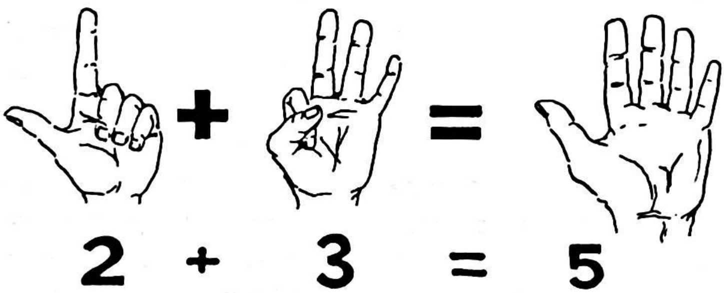
גיל, עלות, נפח, וגובה. כדי „לשמור על עקבותיה" של אינפורמציה כמותית נהוג לתאר אותה במספרים (יחד עם יחידת המידה המתאימה).

אנלוגי לעומת סיפרתי

אינפורמציה כמותית מציגים או מוסרים בשתי דרכים עיקריות. שתי צורות אלה מובילות להבחנה העיקרית בין שני סוגים שונים בתכלית של מחשבים אלקטרוניים, אנלוגיים וסיפרתיים.

המלה סיפרתי מתיחסת לשימוש במערכת ספרות או כמויות מוגדרות. המספרים הערביים 1, 2, 3, 4, לדוגמה, הם ספרות. הסיכום 2 ועוד 3 שוה ל־5 — הוא חישוב סיפרתי. המספר 2 פירושו זוג עצמים או מהויות נפרדים, והמספר 3, כפי שנסיוננו מראה, הוא ספירה המיצגת כמות הגדולה מ־2 ב־1.

כאשר אנו אומרים כי 2 ועוד 3 שוה ל־5, דיוק החישוב מוחלט. אין בחישוב זה כל שגיאה. אנו יכולים להוכיח את היחס על ידי החלפת המספרים בעצמים נפרדים, כמומחש בציור 1 — 2.



ציור 1—2. חישוב סיפרתי מתבסס על פעולות במספרים או בספרות המבטאים אינ־פורמציה כמותית. בדוגמה שלעיל, 2 ועוד 3 שוה ל־5, מתואר החישוב על ידי שימוש באצבעות, אך אפשר היה לתאר במספרים אלה עצמים נפרדים אחרים. צורה זו של חיבור ספרתי, מדויקת, אין בה שגיאה.

אינפורמציה סיפרתית

ספרות מתאימות באופן אידאלי לציון כמויות של עצמים נפרדים, דברים שיש להם קוים וגבולות מוגדרים היטב. אולם לא כל הכמויות מורכבות ממספרים שלמים של עצמים נפרדים. קל לתאר שש מכוניות בצורה סיפרתית, באמצעות המספר 6, אך קשה יותר להגדיר 3 גלונים של בנזין באותה מידת דיוק. במקרה כזה עלינו לדעת מה מידת הדיוק בה נמדד כל גלון. שיטת הנקודה העשרונית אמנם מאפשרת לנו להגדיר, באופן סיפרתי, כמויות שאינן מספרים שלמים של עצמים נפרדים, כמעט בכל מידת דיוק מבוקשת. אבל זאת, בתנאי שאנו משתמשים במספר מספיק של ספרות ובתנאי שיש בידינו אמצעים מדויקים ביותר לחלוקת יחידת המידה הבסיסית, כמו גלון, ליחידות מידה קטנות יותר.

אינפורמציה אנלוגית

כאשר מישהו מדבר על גלון של בנזין, או של נוזל אחר, הוא מתכוון לכמות של נפח השווה לזו של הגלון התקני המוחזק ע״י המשרד הלאומי לתקנים בוושינגטון. בקנדה יש למונח גלון משמעות אחרת. באירופה ובישראל יחידת המידה לנוזלים היא ליטר. סוג זה של כמות שונה איפוא מהשיטה הסיפרתית. לעיתים רחוקות אנו נתקלים ב־$2\frac{1}{4}$ מכוניות. אך האמת היא, שגם לעיתים רחוקות אנו נתקלים בכמות מדויקת של 3 גלונים בנזין, במובן זה, שהכמות שווה בדיוק ל־3 גלונים של משרד התקנים.

תאור של כמות בו נדרשת התיחסות לתקן ידוע, נקרא תאור אנלוגי. הכמות המוגדרת יכולה לכלול סוגים אחדים של התיחסות אנלוגית כמו גלון, קוורט, פינט ואונקיה (יחידות־מידה בארה״ב). אם משתמשים ביחידות מדידה מספיק קטנות, אפשר להגיע לדיוק רב מאד. אולם, תיאור הכמות מקבל צורה סיפרתית רק מפני שמספר המדידות שעשינו מבוטא בצורה סיפרתית.

כפי שניתן לצפות, מחשבים סיפרתיים מבצעים את חישוביהם בספרות. כאשר נפח של 3 גלונים מופיע בחישוב סיפרתי מטפלים בו כבמספר. אי הדיוקים של מדידת כל גלון, יתבטאו בכל החישובים הסיפרתיים. שגיאה של 0,001 גלון בכל מדידה, תצטבר לגלון אחד, אם

הכמות הבסיסית תוכפל ב־1000 (ראה ציור 2—2).

כאשר מחשב סיפרתי מחבר 14.75 ל״י ל־2.34 ל״י התוצאה היא בדיוק 17.09 ל״י. סיכום סיפרתי של 1.00 ל״י, 0.50 ל״י, 0.25 ל״י ו־0.001 ל״י הוא 1.76 ל״י בדיוק מוחלט (ראה ציור 3—2). במקרים מסוימים אי אפשר לבטא תוצאה בדיוק מוחלט. לדוגמה, אם מחשב סיפרתי נדרש לחלק 10 ב־3, הוא יתן את התוצאה בצורה עשרונית אשר דרגת הדיוק שלה מוגבלת רק ע״י מבנה המחשב. גם מכונת חישוב סיפרתית פשוטה ביותר, יכולה לתת כתוצאה, תשובה כמו 3.33333333333. אם רוצים בכך, אפשר לתכנן כי המחשב „יעיין" במספר שהתקבל מפעולת החשבון ויתן כתשובה נכונה את המספר הקרוב ביותר למספר המעשי למקרה הנדון. לדוגמה, אם עובד משתכר 10 ל״י לשעה ועובד ⅓ שעה, יהיה שכרו 3.33 ל״י, מאחר והאגורה היא היחידה המוניטרית הבסיסית. תהליך זה נקרא עיגול ולכל המחשבים הסיפרתיים יש התקנים לביצוע תפקיד העיגול.

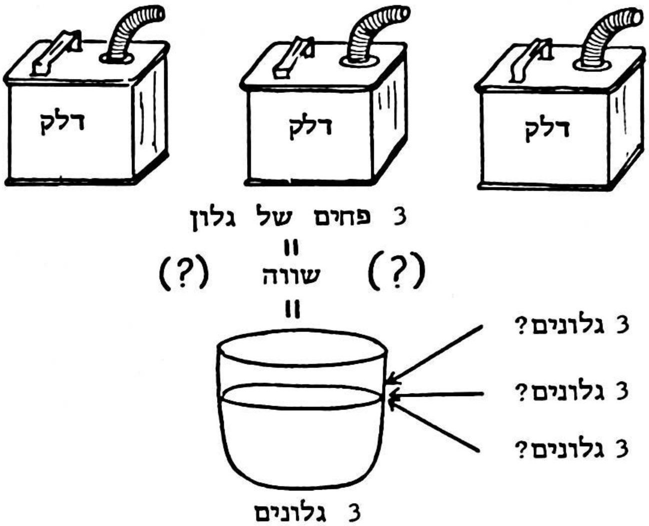
מחשב אנלוגי פשוט

מד־הדלק של מכונית, המתואר בציור 4־2, הוא דוגמה למחשב אנלוגי פשוט. על פני הדלק במיכל צף מצוף. המצוף גורם, באמצעות קישור מיכני־חשמלי, להסטת המחט על פני לוח המד, ביחס מתאים לכמות הדלק שבמיכל. כאשר פני הנוזל במיכל יורדים נעה המחט כלפי הסימן המציין שהמיכל ריק. כאשר מתמלא המיכל נעה המחט לקצה השני של הלוח, כלפי הסימן המציין שהמיכל מלא.

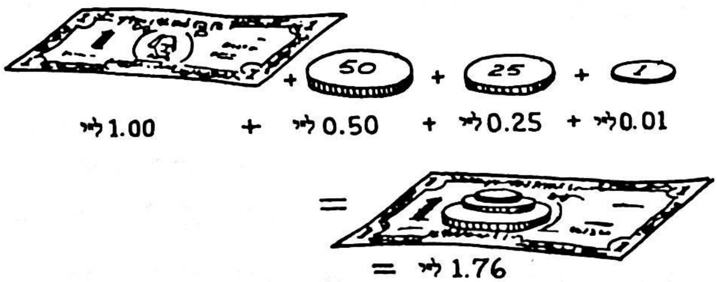
בדוגמה זו מקומה של המחט אנלוגי לכמות הדלק שבמיכל. מקומה של המחט הוא אנלוג של כמות הדלק כשם שמקומה של המחט במד־החום הוא אנלוג של חום המנוע, ומקומה של מחט מד־המהירות הוא אנלוג של מהירות המכונית.

מחשב אנלוגי עם פלט סיפרתי

באשר למד המהירות, תיאור אנלוגי של המהירות אינו מספיק. חשוב שהנהג ידע מה מהירות המכונית בצורה סיפרתית מפני שהגבלות המהירות מבוטאות באופן סיפרתי. בהבדל מבעית מד הדלק, בה אינפורמציה יחסית על כמות הדלק עונה על הצרכים, נדרשת אינפורמציה



ציור 2—2. חישוב אנלוגי מבוסס על פעולות באנלוגים המציינים כמויות כמו גלון. (המשמש להגדרת כמויות של נוזלים). הדיוק של חישוב אנלוגי תלוי במלואו בדיוק בו נמדדת כל יחידה בסיסית. לדוגמה, 1 ועוד 1 ועוד 1, אינם בהכרח שוים בדיוק ל־3, אלא אם כל יחידה נמדדת בדיוק — דבר שהוא כמובן בלתי אפשרי.

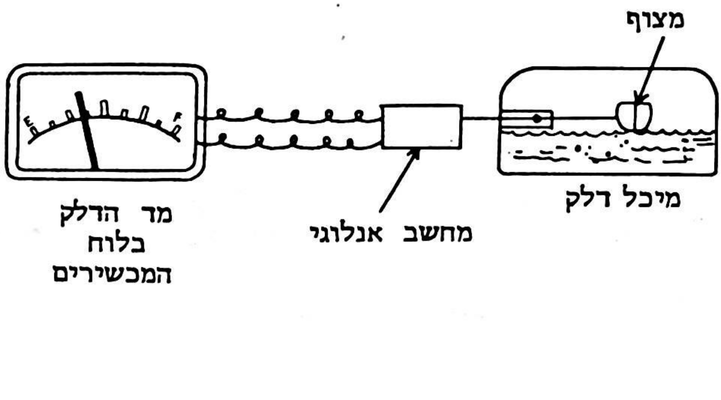


ציור 3—2. לכסף מתיחסים תמיד באופן סיפרתי תוך שימוש בשיטה העשרונית כאשר האגורה היא היחידה המוניטרית הבסיסית. התוצאה של חבור הסכומים 1.00 ל״י, 0.50 ל״י, 0.25 ל״י, ו־0.01 ל״י היא בדיוק 1.76 ל״י. אין שגיאה בחישוב כגון זה.

מדויקת יותר, בכדי להגדיר מהירות.

היצרן מספק לכן, בנוסף לתיאור אנלוגי של המהירות, תדריג סיפרתי (scale). הנהג יכול איפוא להשיג אינפורמציה סיפרתית בקלות ובמהירות. למעשה, יכולה המחט של מד המהירות להימצא במספר בלתי מוגבל של מקומות על פני התדריג. הנהג קובע את מהירותו בספרות על ידי הערכת מרחק המחט מכל אחד משני הסימנים ביניהם היא נמצאת, או פשוט, ע״י התבוננות בסימן הקרוב ביותר למחט. ראה ציור 5—2. מד המרחק, המראה את המרחק שעברה המכונית, מציג את האינפורמציה שלו בצורה סיפרתית.

מן הראוי לציין כי פעולת ההתקן האנלוגי היא פעולה נמשכת. המחט נעה ממקום למקום באופן רצוף וחלק. הנהג מפריד את קריאות המחט של מד המהירות ע״י שימוש ב־1 ק״מ לשעה כיחידת מדידה בסיסית. בעשותו כך הוא מבצע המרה מיצוג אנלוגי ליצוג סיפרתי. פעולה זו מבוצעת בשבילו ע״י מד המרחק. בפרק 9 ניתנים הסברים נוספים להסבה אנלוגית לסיפרתית.



ציור 4—2. מערכת הקישור בין מד־הדלק של מכונית לבין המצוף של מיכל הדלק הוא, מבחינה עקרונית, מחשב אנלוגי. כמות הדלק מבוטאת באנלוג של מקום. יש להציג את התוצאות בצורה מדויקת. הנהג מעונין לדעת רק מתי יהיה עליו לחדש את מלאי הדלק.

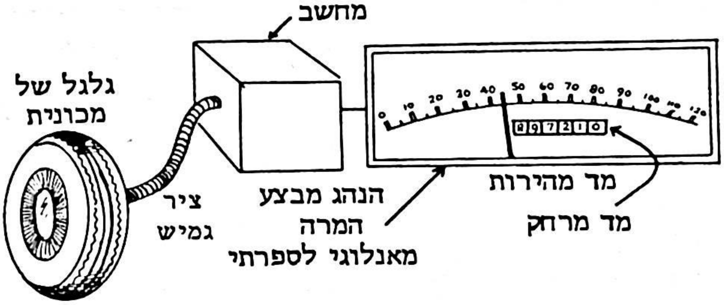
סרגל חישוב — צורה של מחשב

למרות שסרגל החישוב היסודי מוגבל לאין שיעור בהשואה למחשב אלקטרוני, הוא מהווה כלי חישוב רב־עוצמה. סרגל החישוב הוא כלי אנלוגי המצויד בתדריגים (scales) סיפרתיים, כדי להקל על ההתאמה ביניהם ועל קריאת התוצאות.

בקצרה, סרגל החישוב מורכב משני תדריגים מסופררים המסודרים כך, שהמכפלה של X ב־Y תופיע במרחק Y (הנמדד בתדריג אחד) מנקודה X (על התדריג הסמוך). כמה דוגמאות טיפוסיות של שיטת הכפל בסרגל חישוב מוצגות בציור 2—6. שימו לב שהתוצאות בדוגמאות א׳ וב׳ נראות מדויקות.

הדיוק של קריאת הכמות המחושבת בדוגמה ג׳ מוגבל בעיקר ע״י גדלו של סרגל החישוב. בסרגלים גדולים יש מקום רב בין הסימנים. הדבר מאפשר למשתמש לאמוד את התוצאה ביתר דיוק.

לסרגל החישוב יש רבות מהתכונות של מחשב אלקטרוני. במובן מסוים יש לו זכרון, מאחר שהוא „מאחסן" אינפורמציה ביחס למספרים



ציור 2—5. מד המהירות של מכונית גם הוא אמצעי חישוב אנלוגי, אולם מותקנים בו אמצעים להמרה חזותית של המקום האנלוגי של המחט, למהירות ביחידות סיפרתיות, המבוטאת בק״מ לשעה. למד המרחק יש מצג (presentation) סיפרתי ישיר, המראה את מספר הק״מ שהמכונית עברה.

שונים ותוצאותיהם. באופן כללי ובהנחה שמשתמש בו מפעיל מנוסה, יש לסרגל חישוב יכולת לקבל וליצור אינפורמציה.

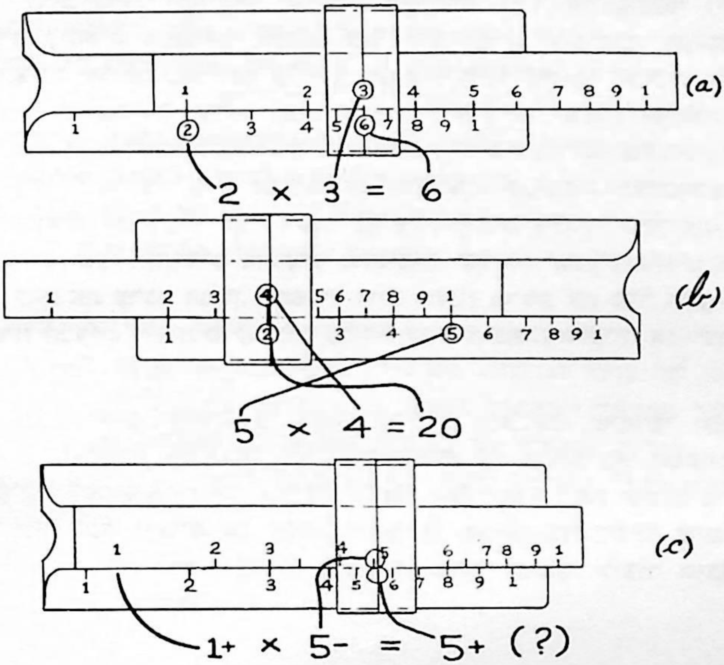
לרוב סרגלי החישוב יש כמה תדריגים, דבר זה מאפשר גישה מהירה ליחסים מספריים אחרים, כמו לוגריתמים, ריבועים, מעוקבים ופונקציות טריגונומטריות. על כל פנים, לסרגל חישוב דרושה הכנה חיצונית לקראת כל פעולה. לאחר שהמפעיל ערך את הסרגל לפעולה — התוצאות הן מידיות ורצופות. אולם, המפעיל חייב ל ק ר ו א את התוצאות המבוקשות, כלומר, עליו לבודד את התוצאה המבוקשת ממספר גדול של תוצאות המוצגות יחדיו. כמו כן עליו לחלק ולכפול בעל־פה את המספרים שעל התדריג בחזקות מתאימות של 10 (1000,100,10) כדי לתת להם את ערכם הנכון. המפעיל חייב לתכנן מראש את סדר הפעולות לפתרון הבעיה, ולעיתים קרובות עליו לרשום תוצאות חלקיות או לשמור אותם בזכרון, לצורך שימוש עתיד.

אנו רואים, איפוא, כי סרגל החישוב הוא כלי שימושי וגמיש אולם הוא מוגבל במהירות ובדיוק. השימוש בו מחייב את המשתמש, קודם־כל, לקבוע את שלבי החישוב ולאחר מכן להפעיל את הסרגל בידיו צעד אחר צעד, ולפרש את התוצאות של כל פעולה. כדי להיות שימושי יותר, צריך עזר חישוב להיות אוטומטי, מהיר ומסוגל ליצור תוצאות בדרגת הדיוק הרצויה.

מכונות חישוב שולחניות

מכונת החישוב השולחנית מסוגלת לבצע חישובים בדיוק הרבה יותר גדול מאשר סרגל חישוב. מכונה זו היא מכשיר סיפרתי. בחיבור מספרים היא יוצרת תוצאות בעלות דיוק מוחלט. בידיו של מפעיל מיומן היא יכולה לפתור בעיות בעלות מורכבות ניכרת במהירות סבירה. אולם יש לה אותן המגבלות המצויות בסרגל החישוב, — סדר הפעולות צריך להיקבע ע״י המפעיל ואין בה סידורים לאחסון תוצאות; דרוש איפוא מפעיל לקריאת התוצאות ורישומן. ציור 7—2 מראה מכונת חישוב שולחנית טפוסית.

המיגבלות שנמנו לעיל הובילו לפיתוחם של מחשבים אלקטרוניים אשר נועדו להתגבר על צוארי בקבוק אנושיים. התעשיה נזקקה לגמישות רבה יותר, מהירויות גדולות יותר ופעולה אוטומטית.

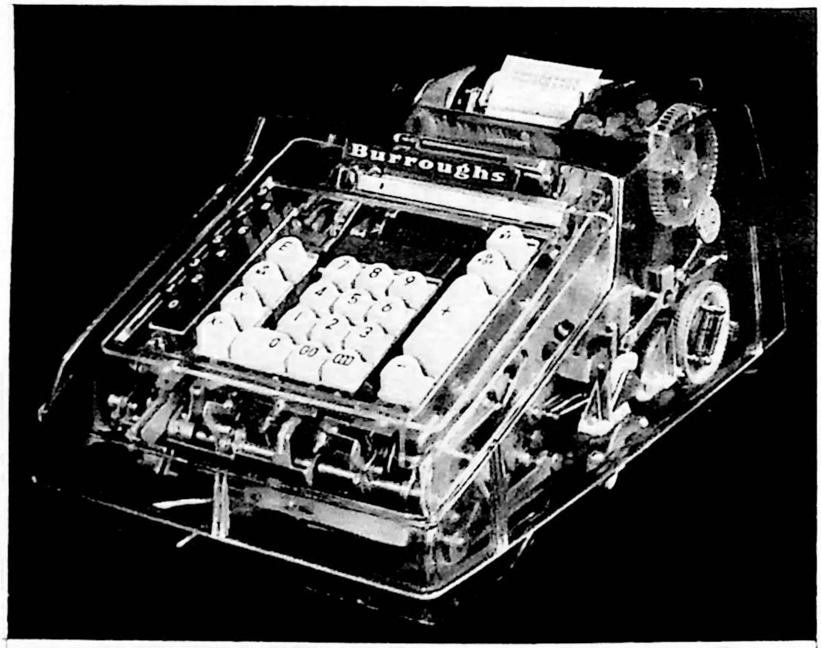


ציור 6—2. סרגל החישוב הוא עזר רב עוצמה לחישוב, במיוחד לבעיות הכרוכות בפעולות פשוטות ובדרישות דיוק מועטות. הדיוק של סרגל החשוב תלוי בגודל התדריג. סדר הפעולות חייב להיקבע ע״י המשתמש ואת התוצאות יש לפרש ולרשום על ניר לצורך שימוש בעתיד.

מונחים של מחשב אלקטרוני

בלימוד מחשבים סיפרתיים משתמשים לעתים קרובות במונחים כגון **ס י פ ר ה**, **ת ו ו** (character), **ס ב י ״ ת** (bit), **צ ו פ ן ב י נ ר י**, **מ ס פ ר**, **ת ו ו י ם א ל פ א נ ו מ ר י י ם**, ורבים אחרים. ברוב המקרים שאולים מונחים אלה משפת יום יום, אולם בתחום המחשבים מובניהם חד־משמעיים ופירוש מוטעה שלהם עלול לגרום לבלבול.

הסבי"ת (ר"ת של המונח סיפרה בינרית) היא הרכיב היסודי של כל מערכת סיפרתית. היא מיצגת „נתח" בודד של אינפורמציה, לדוגמה, נוכחותו או העדרו של חפץ במקום מסוים. הגורם מצוי במקום זה או שאינו מצוי בו. דמה לעצמך מטבע על קלף, כמתואר בציור 8—2. במינוח סיפרתי אנו מגבילים את המצבים האפשריים לשניים: 1) י ש מטבע על הקלף או, 2) א י ן מטבע על הקלף. בזמן נתון, יכול רק אחד מהמצבים להתקיים. בשטה פשוטה זו אין כל משמעות כאשר המטבע נמצא רק בחלקו על גבי הקלף.



ציור 7—2. מכונות חישוב שולחניות פועלות בדיוק רב יותר ובמהירות גדולה יותר מאשר סרגלי חישוב. אולם, גם לגביהן, המפעיל הוא אשר קובע את סדר פעולות החישוב. לכמה מהמכונות יש אמצעי הדפסה לרישום צעדי חישוב ותוצאות חלקיות.

ריבוי אפשרויות על ידי הוספת סביות

נבחן עתה שני מנופים כאלה הניצבים זה ליד זה, כמתואר בציור 10—2. מכיון שכל מנוף יכול לאחסן שני מצבים נפרדים, צירוף של שני מנופים יכול לאחסן ארבעה הרכבים שונים של מצבים. מצבים אלה מזוהים בציור 10—2, כ־0,1,2,3, אולם אפשר היה להשתמש בהם כדי למסור אינפורמציה מפורטת יותר על זמנו של היום המציינת לדוגמה, בוקר, אחר־הצהריים, ערב ולילה.

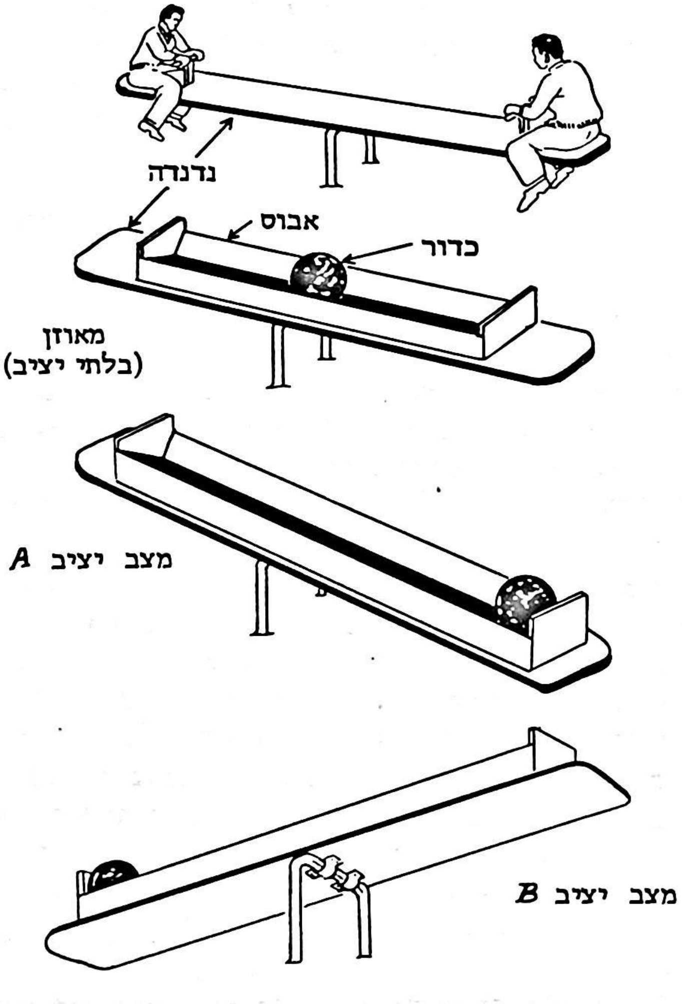
נתאר לעצמנו עתה, שלשה אמצעים כאלה לאחסון שני מצבים. אדם עלול להניח כי מערכת כזאת מסוגלת לזכור 2 כפול 3 או 6 מצבים אך למעשה, עם 3 סביות אנו יכולים להציג 8 מצבים.

כדי להבהיר זאת, נתבונן בקצה אחד של כל נדנדה ונאמר אם הוא „למעלה" או „למטה". זוהי כל האינפורמציה הדרושה לנו מכיון שהקצוות האחרים מוכרחים להימצא כל אחד במצב הפוך, בהתאם לכללים של לוגיקה סיפרתית. טבלה 1—2 מראה את שמונת המצבים.

טבלה 1—2

מצב	מס׳ 1	מס׳ 2	מס׳ 3
0	למעלה	למעלה	למעלה
1	למטה	למעלה	למעלה
2	למעלה	למטה	למעלה
3	למטה	למטה	למעלה
4	למעלה	למעלה	למטה
5	למטה	למעלה	למטה
6	למעלה	למטה	למטה
7	למטה	למטה	למטה

אם נגדיל את המערכת הנ"ל לארבע נדנדות, נוכל להגדיר 16 מצבים שונים. כל תופעה המתבטאת בשני מצבים מתאימה להעברת אינפורמציה סיפרתית. לדוגמה, נורות הניתנות להדלקה או כיבוי, מתגים הניתנים לפתיחה או סגירה, שפופרות אלקטרוניות או טרנסיסטורים המוליכים זרם או מנותקים. כדי להוסיף ולפשט את הדיון בסימון לוגי



ציור 9—2. מחשבים סיפרתיים מורכבים מיחידות לוגיות הנקראות סב־סובים. אפשר להשוות יחידות אלה לנדנדות המצויות במגרשי משחקים של ילדים. כדור משחק מתגלגל לקצה הנמוך בהשפעת כוח המשיכה ושומר על עמדתו הנמוכה של קצה זה עד אשר המערכת מופרעת. כמו בסב־סוב, אחד משני המצבים היציבים מוכרח להתקים (חוץ מאשר במעבר ממצב למצב שמשכו בדרך כלל קצר).

של שני מצבים ולקבוע שפה משותפת להגדרת מצבים, ללא תלות בהתקן המבטא אותם, נאמץ לנו את השימוש ב־1 ו־0 „כשמות" נוחים למצבים מנוגדים הניתנים להבחנה.

בדרך כלל, אם המכשיר הדו־מצבי איננו סימטרי לגמרי, מיחסים את האפס למצב הפחות פעיל של המכשיר, בנורה לדוגמה, מצב כבוי ובמתג — מצב פתוח; ואת האחד למצב היותר פעיל. לעתים מתיחסים למצבים אלה כאל מצב קשור (on) ומצב מנותק (off).

הצופן הבינארי

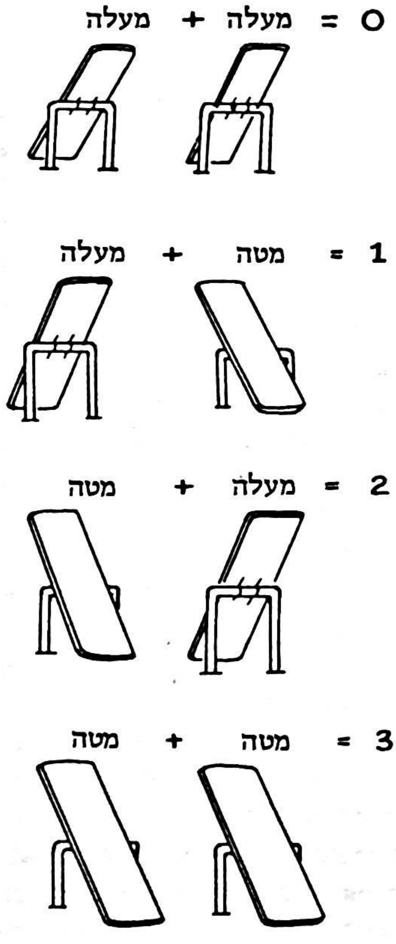
יתכן כי הקורא כבר הבחין ביחס שבין מספר המכשירים הדו־מצביים או הסביות, לבין מספר התנאים השונים שאפשר להגדיר באמצעותם. היחס ביניהם הוא יחס מעריך (exponential). פירוש הדבר שמספר הסביות שבשימוש משמש חזקה של 2, כדי לקבוע את מספר התנאים האפשריים. באופן זה, עם 2 סביות מספר המצבים הוא 2^2 (2 מוכפל בעצמו), או 4. עם 3 סביות נקבל 2^3 או $2\times2\times2=8$ תנאים שונים, עם ארבע סביות יש לנו 2^4 או $2\times2\times2\times2=16$ תנאים, וכך הלאה (ראה טבלה 2—2).

יחס זה הוא הבסיס לצופן הבינרי. מענין להתבונן בכמה תכונות של הצופן הבינרי. כתרגיל חשיבה פשוט, נדמה לעצמנו אדם המשתמש באמצעותיו כדי למנות עד 10. בדרך הרגילה, הוא מכופף את האצבע הראשונה של יד אחת כדי לציין 1. הוא מרים את הראשונה ומכופף את השניה כדי לציין 2, וכך הלאה, עד אשר המספר 10 מצוין על ידי כפיפת האצבע העשירית כשכל האחרות מורמות (ראה ציור 11—2). אם נניח שכל אצבע היא סבית, אנו מגדירים, בצורה זו, עשרה מספרים באמצעות עשר סביות. בדרך זו פעולתנו לגמרי בלתי יעילה.

יעילות אינפורמציה

נעיין עתה באפשרות שאדם הורגל לשיטה הבינרית של מספרים. כפי שתואר בשיטה העשרונית, הוא מכופף את האצבע הראשונה של יד אחת כדי לציין 1. במקום לתת לכל אצבע ערך של יחידת ספירה אחת, הוא נותן משקלות או ערכים לכל אצבע, כמתואר בציור 11—2.

אם ניתן לכל אצבע ערך כפול ביחס לאצבע הקודמת, יהיה ערכה של האצבע השניה 2. המספר השני במהלך הספירה יבוטא, איפוא, על



ציור 10—2. שני התקנים של זכרון דו מצבי יכולים להגדיר ארבעה מצבים. שלשה מסוגלים להגדיר שמונה מצבים וארבעה יכולים להגדיר ששה עשר מצבים. זהו הבסיס לצופן הבינרי.

טבלה 2—2

מספר סביות	מספר מצבים
0	0
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256
9	512
10	1024
11	2048
12	4096
13	8192
14	16,384
15	32,768
16	65,536
17	131,072
18	262,144
19	524,288
20	1,048,576

ידי כפיפת האצבע השניה. פעולה זו עדיין תואמת את הגישה העשרונית, אולם אחרי המספר 2 מגלה השיטה הבינרית את יתרונה. את המספר 3 אפשר לסמן מבלי להשתמש באצבע השלישית. חיבור המשקלות המיוחסים לאצבעות 1 ו־2 נותן 3. כפיפתן של שתי האצבעות יחד מגדירה, איפוא, את המספר 3. לאצבע השלישית ניתן ערך של 4, לכן, היא בלבד מציינת מספר זה. המספר 5 מסומן על ידי צירוף של האצבע הראשונה והאצבע השלישית, וכך הלאה. בשיטה העשרונית, עם 10 אצבעות, אנו יכולים לספור עד 10. בשיטה הבינרית, עם 10 אצבעות, אנו יכולים לספור עד

1023 (שים לב כי מספר זה הוא 2^{10}, אם הכמות 0 נמנית גם היא כתנאי. המספר הכולל של התנאים המוגדרים הוא 1024). ככל שהמספרים שיש לסמנם הולכים וגדלים, נעשית השיטה הבינרית יותר ויותר יעילה. נוסף לזה, השיטה הבינרית, על נוסחיה השונים, מתאימה באופן אידיאלי לדרך העבודה הפנימית של מחשבים סיפרתיים, מסיבות אחרות אשר יבוארו בפרק 5.

צפנים מצורפים

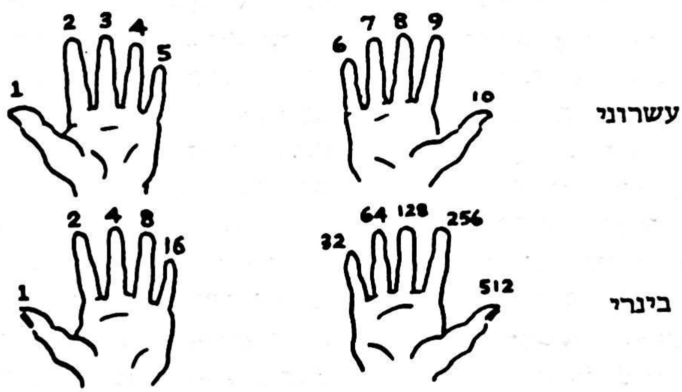
הקורא גילה, ללא ספק, פגם אחד בשיטה הבינרית. מעט מאד אנשים חושבים במונחים של מספרים בינריים. גם מומחה גדול ועתיר נסיון במחשבים, משלם את חשבונותיו ומונה את כספו בשיטה עשרונית. המספר הבינרי 1111111111 הוא שוה ערך ל־1023 אולם המספר הבינרי 11111111111 הוא 2047. השוני בין המספרים הוא רב משמעות, אולם קשה לזיהוי בצורתם הבינרית. כמה קשה לפרש מספר בינרי כמו 1101001010, אולם שוה הערך העשרוני שלו 842 מוכר לכל אחד.

ישנם הרבה מספרים של מחשבים המושתתים על הצופן הבינרי הישיר. אחד מהשימושיים ביותר הוא הצופן־העשרוני על בסיס בינרי (binary coded decimal code), שהוא צירוף של השיטה הבינרית והשיטה העשרונית. מבין הצפנים האחרים נזכיר את האוקטלי, עודף 3 (excess 3), הקסידצימלי, בינרי מחזורי (cyclic binary) וביקוינרי (biquinary). לכל אחד מהם יתרונות וחסרונות. יצרן המחשב לומד את השימושים להם מיועד המחשב שלו ובוחר את הצופן או הצפנים המתאימים ביותר. מחשבים אחדים יכולים לקבל אינפורמציה בצפנים אחדים, ולתרגם אותם לצופן המשמש להם לחישוב, ולאחר מכן להפוך את התוצאות לצופן אחר הנדרש להפעלת ציוד הפלט.

לצופן העשרוני על בסיס בינרי יש יתרונות שמושיים רבים במחשבים לעבוד נתונים. כל הספרות הערביות (העשרוניות) מ־0 עד 9 ניתנות להגדרה על ידי ארבע סביות בינריות, כמתואר בטבלה 3—2. בטבלה 3—2 השתמשנו בשיטה המקובלת לסימול מצבים באמצעות 1 ו־0.

טבלה 2—3

בינרי	עשרוני
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9



ציור 11—2. להבהרת יעילותה של השיטה הבינרית בהעברת אינפורמציה, בהשואה לשיטה העשרונית, מודגמת בציור ספירה באמצעות אצבעות. עשר האצבעות של שתי ידים יכולות לספור עד 10 בלבד בשיטה העשרונית, אך עד 1023 בשיטה הבינרית.

בכל מספר בינרי, הטור הימני ביותר הוא טור היחידה ($1=2^0$). אם בטור זה מופיע 1, נכללת יחידה במספר הבינרי. אם מופיע 0, המספר הבינרי אינו כולל יחידה. הטור השני מימין מיצג 2^1 (או פשוט 2). הטור השלישי 2^2, או 4 והטור הרביעי 2^3, או 8. באופן זה המספר העשרוני 7 מורכב מ־$7=4+2+1$; המספר העשרוני 9 מורכב מ־$9=8+1$ או $9=2^3+2^0$.

השיטה העשרונית על בסיס בינרי מבזבזת כמה אפשרויות. על ידי ארבע סביות אפשר היה לייצג גם את המספרים העשרוניים 10, 11, 12, 13, 14, ו־15, אך בדרך כלל אין משתמשים בהם בשיטה זו. כדי לציין מספר עשרוני המורכב מיותר מספרה עשרונית אחת, משתמשים בקבוצה נפרדת של 4 סביות בינריות, בשביל כל ספרה עשרונית. לדוגמה המספר 34 מיוצג בצופן עשרוני על בסיס בינרי כך:

0011	0100
3	4

נוח יותר לחשוב על סביות השיטה העשרונית על בסיס בינרי, כשהן מסודרות בצורה מאונכת, בה מתואר המספר 3586:

אלפים	מאות	עשרות	יחידות	
0	0	1	0	8
0	1	0	1	4
1	0	0	1	2
1	1	0	0	1
‖	‖	‖	‖	
3	5	8	6	

כל סיפרה עשרונית, מיוצגת בשיטה זו, ע"י ארבע סביות בינריות. למרות ששיטה זו אינה כה יעילה כמו השיטה הבינרית הטהורה, יש לה היתרון שאפשר לתרגמה במבט חטוף. ההפיכה לסימון עשרוני ישיר, לצורך הפעלת ציוד קלט־פלט, המקבל במערכות מחשבים מסוימות רק אינפורמציה עשרונית, היא קלה יחסית. על כל פנים השיטה העשרונית של בסיס בינרי יעילה הרבה יותר מהשיטה העשרונית הטהורה, היות וכל סיפרה מצוינת על ידי ארבע סביות, לעומת עשר הדרושות לשיטה העשרונית הטהורה.

חשיבות (SIGNIFICANCE)

בכל מספר בינרי או מספר על בסיס בינרי, הסביות המלוות בחזקות הגבוהות ביותר (המספרים הגבוהים ביותר), נחשבות ליותר חשובות מאשר הסביות המלוות בחזקות נמוכות. במספר המיוצג ע״י ארבע סביות בינריות, הסבית המייצגת 2^3 היא הסבית בעלת החשיבות הגדולה ביותר, וסבית היחידה היא הסבית בעלת החשיבות הפחותה ביותר.

המרה מצופן לצופן

הרבה „תחבולות" הותקנו במחשבים לצורך המרתו של צופן בינרי לצופן עשרוני, ולהיפך. הדרך הקלה ביותר לתאר זאת היא כלהלן: כדי להמיר מספר בינרי למספר עשרוני, אנו פשוט מחברים את המשקלים של הסביות שיש בהן 1, כמתואר לעיל. כדי להמיר מספר עשרוני לבינרי, אנו משתמשים בחיסור.

לדוגמה, יש להמיר את המספר 21 מצורתו העשרונית לצורה הבינרית טהורה. המספר הבינרי הגדול ביותר (אשר קטן מ־21) הוא 16 או 2^4. אנו יודעים אם כן, כי המספר הבינרי יכיל 5 סביות. והסבית החשובה ביותר שלו תהיה 1, דבר זה מראה שהמספר 16 נכלל במספר שאנו מסבים. ביצוע החיסור, 5=16—21, מראה לנו כי המספר הפחות חשוב אחרי 16 שהוא 8 גדול מהשארית 5, לכן אין להכניס את 8 למספר הבינרי, אלא לרשום 0 בסבית שלו. בצעד הבא אנו בוחנים את הסיפרה הבאה בסדר פחיתות החשיבות — 4. אנו מוצאים כי היא נכללת בשארית 5 ולכן נשים 1 בסבית המיצגת 4. המספר הבא 2 גדול מ־1, (שהוא תוצאת חיסוד 1 = 4 — 5), לכן נשים 0 בסבית שלו ונרשום 1 במקומה של סבית המיצגת 1. המספר הבינרי המתאים הוא איפוא, 10101.

את הפעולות שתוארו קל לבצע באופן אלקטרוני, אבל אינן יעילות מבחינת הזמן שהן גוזלות. הן צורכות זמן וציוד רבים יותר מן הנדרש לביצוע ההמרה. השיטות היעילות יותר, הן הרבה יותר מורכבות. השיטה שתארנו לעיל, נועדה רק להסביר את היחס שבין השיטה העשרונית והשיטה הבינרית.

אם נחזור ונעיין בשתי השיטות שדנו בהן עד הנה, ניווכח כי המספרים היסודיים הקשורים בהן הם 2 בשיטה הבינרית ו־10 בשיטה העשרונית. אנו אומרים, איפוא, כי השיטה הבינרית בנויה על ב ס י ס של 2 והשיטה העשרונית על בסיס של 10. שימו לב כי בספירה (הגדלת הכמות ביחידה בסיסית קבועה) המספרים מימין (מספרים בעלי חשיבות פחותה) מגיעים באופן מחזורי ל־0. בכל פעם שהם מגיעים לאפס נ ג ר ר 1 למקומה של הספרה הבאה בסדר עולה של החשיבות (בכיוון מימין לשמאל). בשיטה העשרונית מיצגת הנגררת (carry) כמות של 10, ובשיטה הבינרית כמות של 2. בשתי השיטות מונה הספרה הימנית ביותר (בעלת החשיבות הפחותה ביותר), יחידות.

סימול אוקטאלי (OCTAL CODING)

מכיון שקשה לתרגם „בעיין" מספרים בינריים טהורים משתמשים בשיטה האוקטלית למטרות הצגה חזותית והשואה. בשיטה זו מחלקים את המספר הבינרי לקבוצות בנות שלוש סביות כל אחת (מימין לשמאל), והופכים כל קבוצה בנפרד למספר עשרוני. לדוגמה, מחלקים את המספר הבינרי 101001010 לקבוצות: 010 001 101 ומציגים כל קבוצה כמספר עשרוני, שהוא במקרה זה 512. שימו לב כי בשיטה האוקטלית לעולם לא יופיעו ספרות עשרוניות הגדולות משבע. (מספר בינרי בן 3 סביות יכול לייצג רק 8 תנאים שונים, מ־0 עד 7 — ראה טבלה 2—2). למספרים העשרוניים המתקבלים בדרך זו אין כל משמעות כמספרים מוחלטים, אך למטרות השואה הם די שימושיים.

צופן עודף — 3 (EXCESS — 3 CODE)

סטיה נוספת מהשיטה הבינרית הטהורה היא צופן עודף־3, שהוא למעשה נוסח שונה של הצופן העשרוני על בסיס בינרי. לצופן רווח זה יש כמה תכונות שימושיות. בשימושים מסויימים במחשבים יש צורך לחסר סיפרה נתונה מ־9. אפשר לעשות פעולה זו כמעט כהרף עין אם הסיפרה המבוטאת בצופן עודף־3. כל מה שנדרש הוא להפוך את תוכנה של כל סבית, כלומר סבית בעלת תוכן 1 מקבלת תוכן 0 וסבית בעלת תוכן 0 מקבלת תוכן 1. פעולה זו של חיסור מ־9 נקראת ה ש ל מ ה (complementing). סימול מספרים בצופן עודף־3, דומה לסימול מספרים

טבלה 4 — 2

המשלים של עודף־3	עודף 3	בינרי	עשרוני
1100	0011	0000	0
1011	0100	0001	1
1010	0101	0010	2
1001	0110	0011	3
1000	0111	0100	4
0111	1000	0101	5
0110	1001	0110	6
0101	1010	0111	7
0100	1011	1000	8
0011	1100	1001	9

בצופן העשרוני על בסיס בינרי, ההבדל ביניהם הוא שכל מספר בצופן עודף 3 גדול ב־3 מהמספר המקביל לו בצופן העשרוני על בסיס בינרי, כמתואר בטבלה 4—2.

צופן אלפאנומרי

במחשבים המיועדים לשימושים מסחריים, יש צורך גם בתוים אלפאנומריים. תוים אלו אינם משמשים בחישובים, אך הם דרושים לזיהויה של אינפורמציה מספרית בה נעשים חישובים. לדוגמה, בחישוב משכורת צריך לאחסן במחשב גם את שם העובד ואינפורמציה אלפבתית אחרת, יחד עם האינפורמציה המספרית השייכת לו, כדי להפעיל כראוי את ציוד הפלט.

ראינו כי באמצעות ארבע סביות אנו מגדירים, בשיטה העשרונית לפי צופן בינרי, עשרה מספרים ומזניחים חמש אפשרויות נוספות. עם שש סביות לכל צירוף אפשר להגדיר ששים וארבע צירופים שונים. עשרה מהם משמשים להגדרת המספרים העשרוניים מ־0 עד 9 בצורה הרגילה של ייצוג עשרוני על בסיס בינרי (כאשר שתי הסביות השמאליות ביותר מכילות אפסים). חמישים וארבע האפשרויות הנותרות משמשות

להגדרת אותיות של האלפבית וסמלים שונים אחרים, לכמה מהצירופים מיחסים מובנים מיוחדים אותם יכול המחשב לפרש כפקודות פשוטות, כפי שעוד נראה בהמשך הדברים.

לקורא המבקש להתעמק בלימוד המחשבים האלקטרוניים, חשוב כי יבין ויכיר את שיטות הצפנים השונים. סיבות אחדות להעדפת צופן אחד על פני אחר בשימוש מסוים, יתבררו בדיון על דרכי החישוב של מחשב בפרק 3.

3

דרכי החישוב של המחשב

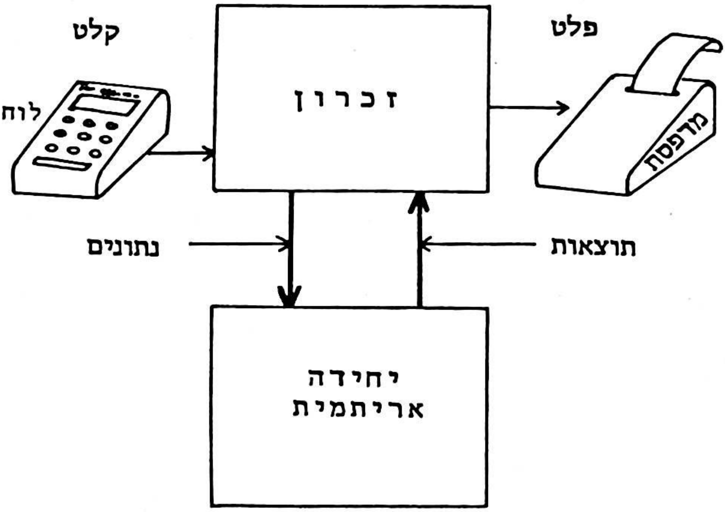
בפרק 2 הראינו, כי המחשב פותר בעיות על ידי אחסנת הנתונים המיועדים לעיבוד, ושליפת חלקים נבחרים של נתונים אלה לחישוב, בזה אחר זה. החישוב עצמו נעשה ביחידה האריתמטית של המחשב (ראה ציור 1—3).

פעולת החיבור במחשב

היחידה האריתמטית של מחשב מורכבת ממעגלים אלקטרוניים לוגיים, שפעולתם היסודית היא זו של חיבור. כדי להבין כיצד נעשים רוב־רובם של החישובים באמצעות פעולת חיבור פשוטה, הבה נבחן כמה חישובים טיפוסיים. ראשית, — חיבור. כדי לחבר את המספר 163 למספר 265 אנו מסדרים את המספרים זה מעל זה ומחברים במאונך תוך שימוש בכללי החשבון היסודיים שלמדנו בבית הספר היסודי.

$$\begin{array}{r} 163 \\ +\ \underline{265} \\ 428 \end{array}$$

צעד אחר צעד אנו אומרים 3 ועוד 5 שווה ל־8 . אחר כך אנו אומרים כי 6 ועוד 6 שוה ל־12, אבל אנו יודעים כי 1 צריך להצטרף לטור הבא לכן אנו „זוכרים" 1 ומחברים אותו לסכום של 1 ועוד 2, ומקבלים 4.



ציור 1—3. מערכת המחשב האלקטרוני מבצעת את חישוביה המתימטיים ביחידה אריתמטית מרכזית. תכנית העיבוד במחשב מסדרת את הנתונים שיש לעבד בסדר כזה, שעם כל פקודת פעולה נכנסת מערכת אחת של מספרים לתוך היחידה האריתמטית. יחידות אריתמטיות אלקטרוניות רבות מסוגלות לחבר, לחסר, לכפול ולחלק בזמן כה קצר, עד כי הוא נמדד בסדר גודל של מליונית שניה.

חיסור על ידי חיבור

תוך שימוש בתחבולות מסוימות אנו יכולים לחסר באמצעות חיבור. כדי לחסר 163 מ־265, ביד, אנו רושמים את המספרים כלהלן:

$$\begin{array}{r} 265 \\ -\underline{163} \\ 102 \end{array}$$

גם כאן, כמקודם, אנו מחסרים בכל פעם ספרה אחת. כאשר סיפרת המחסר גדולה מסיפרת המחוסר, אנו מוכרחים לשאול 10 מסיפרת המחוסר הסמוכה. נראה עתה כיצד עושה המחשב חסור תוך שימוש בחיבור. מבחינה אלקטרונית, תוך שימוש בצפנים מתאימים, קל לחסר מספר ממספר שכל אחת מסיפרותיו היא 9. במילים אחרות, קל להפחית 163 מ־999 ולקבל 836. מספר זה הוא המשלים ל־9 של המחסר (163). באמצעות מערכת כללים יסודים פשוטים אנו יכולים להשתמש במשלים זה כדי לקבל את ההפרש שבין המחוסר והמחסר שהבאנו בדוגמה. כללים אלה הם: (1) חבר למחוסר את המשלים ל־9 של המחסר, (2) הוסף לתוצאה 1, ו־(3) הזנח את הספרה השמאלית ביותר (אשר תכיל תמיד את המספר 1) של הסכום שהתקבל. התוצאה תהיה ההפרש המבוקש. כדי לחסר 163 מ־265 אנו כותבים:

$$\begin{array}{r} 265 \\ +\ \underline{836} \\ 1101 \end{array}$$

(המשלים ל־9 של 163)

חיבור 1 לתוצאה והזנחת הסיפרה השמאלית ביותר — נותנים לנו את המספר 102, שהיא התשובה הנכונה. כדי להיות בטוח ששיטה זו אמנם נכונה, כדאי שהקורא ינסה בעצמו כמה דוגמאות נוספות.

כפל באמצעות חבור

גם כפל אפשר לבצע על ידי חיבור. נכפיל לדוגמה 265 ב־163. באופן רגיל אנו עורכים את הכפל בצורה הבאה:

$$\begin{array}{r} 265 \\ \times\ \underline{163} \\ 795 \\ 1590 \\ \underline{265} \\ 43195 \end{array}$$

כאן, לפי כללי החשבון המסודרים, אנו אומרים למעשה, 3 פעמים 265 הם 795, 6 פעמים 265 הם 1590 (אותם אנו מזיזים טור אחד שמאלה), פעם אחת 265 היא 265 (אותו שוב אנו מזיזים טור אחד שמאלה), אנו יכולים להתעלם מתהליך הכפל באופן הבא:

```
     265
   × 163
   -----
     265
     265
     265
    265
    265
    265
    265
    265
    265
   265
   -----
   43195
```

מכפלת שני מספרים במחשב, נעשית בדרך זו. המספר המוכפל פשוט מחובר לעצמו כמה פעמים, כמספר המופיע בסיפרת היחידות של הכופל. המחשב זז לאחר מכן טור אחד שמאלה ומחבר את המספר כמספר הפעמים המצוין בסיפרת העשרות, וכן הלאה עד אשר מושגת התוצאה בשלמותה.

פעולות חילוק במחשב

גם את החילוק אפשר לבצע במחשב באמצעות חבור. נניח כי יש לחלק את המספר 33 ב־8. נשתמש לצורך זה בחיבור משלים. נחסר 8 מ־33 ונבחן אם תוצאת הביניים היא חיובית, אפס או שלילית. אם היא חיובית אנו מציבים 1 במונה התוצאה (מונה זה הוא מקום מסוים במחשב המוקצה לצבירת התוצאות), ומחסרים 9 נוסף מתוצאות הביניים.

מכיון ש־25=8—33 (מספר חיובי), אנו מכניסים 1 למונה התוצאה, ומחסרים 8 מ־25 ומקבלים 17. גם 17 הוא מספר חיובי, לכן בהתאם לכלל אנו מ ח ב ר י ם 1 נוסף למונה התוצאה (2=1+1) וממשיכים בחיסור 8 מ־17 ומקבלים 9. שוב, אנו מגדילים את המספר במונה התוצאה ב־1 (מגדילים את 2 ל־3), מחסרים 8 מ־9 ומקבלים 1. מכיון ש־1 הוא עדיין מספר חיובי אנו מגדילים את המספר במונה התוצאה מ־3 ל־4 ושוב מחסרים 8 מ־1. אבל עתה תוצאת הביניים המתקבלת מהחיסור היא מספר שלילי, 7—. תוצאת ביניים זו מראה כי התוצאה הסופית של החלוק נמצאת בין 4 ל־5.

דיוק החילוק

אלו הסתפקנו בתוצאה מקורבת, היתה התוצאה כמו הנ״ל (בין 4 ל־5) מספיקה עבורנו, על כל פנים, מחשבים אלקטרוניים נדרשים לפתור בעיות ברמת דיוק הרבה יותר גבוהה מזו. כדי להשיג דיוק רב יותר, כאשר מגלים תוצאות ביניים שלילית, מגדילים את תוצאת הביניים הקודמת ב־10. לאחר זאת ממשיכים בתהליך החסור ומחברים את מספר החיסורים לספרה שמימין לנקודה העשרונית, במונה התוצאה הסופית.

בסופו של התהליך מקבלים את המספר 33:8=4.125 שדיוקו מוחלט. אם אין מורים למחשב להפסיק את הפעולה כאשר התקבלה התשובה הנכונה (נתגלתה שארית של אפס), הוא ימשיך בפעולה עד אשר יושג גבול הקבולת של מונה התוצאה. לדוגמה, אם מונה התוצאה הוא בן 11 ספרות, שאחת מהן מיועדת לסימון ערכו של המספר (שלילי או חיובי), תהיה התשובה לחילוק 33 ב־8, 4.125000000+.

ברור ששיטה זו של חילוק באמצעות חיסור (ולמעשה באמצעות חיבור) גוזלת זמן רב מאד. אם צריך לחלק מספר גדול במספר קטן, למשל, לחלק 1000 ב־2, יידרשו 500 צעדי חיסור לפני שתוצאת הביניים תצא מהתחום החיובי והשארית תגיע לאפס. כדי לזרז תהליך זה „מנסה" מחשב מודרני באופן אוטומטי (לדוגמה) להחסיר 2000 מ־1000. את ה־2000 הוא משיג ע״י הזזת הסיפרה 2, טורים אחדים שמאלה, בתוך המונה שלו (פעולה זו שוות ערך לכפילת 2 ב־1000). התוצאה של החיסור תהיה שלילית, לכן מנסה המחשב, באופן אוטומטי, לחסר 200 (אחרי הזזת 2000 טור אחד ימינה) מ־1000. המחשב ימצא כי הוא יכול לעשות חיסור כזה 5 פעמים לפני שתוצאת הביניים של החיסור עוברת את התחום של מספרים חיוביים. 5 הספירות (צעדי החיסור) מחוברות למקום הספרה (מימין לשמאל) של מונה התוצאה הסופית. תהליך זה נמשך עד אשר מושגת דרגת הדיוק המבוקשת. (בדוגמה שניתנה אין צורך בצעדים נוספים, מכיון שהתוצאה 500 התקבלה בדיוק מוחלט בצעד הששי, כפי שהראתה שארית האפס שהתקבלה מחיסור 200 מ־200).

חשבון בינרי

בפרק 2 דנו בצופן הבינרי וביתרונותיו לגבי יעילות האינפורמציה. הצופן הבינרי גם מתאים באופן מיוחד לחישוב אלקטרוני. רוב המחשבים המודרניים מנצלים יתרון זה בדרכים שונות. כדי להבין את יתרונותיו של חישוב בינרי, חשוב שנבין קודם כל, כמה כללים יסודיים. מספר הכללים הדרושים לחשבון הבינרי קטן בהרבה משל הדרושים לחשבון העשרוני. מכיון שכל המספרים מבוטאים על־ידי צירופים של 1 ו־0, אפשריים רק שני מצבים בטור של כל סיפרה, ולא עשרה (0 עד 9) כמו בשיטה העשרונית.

הכללים הבאים מכסים את כל הנסיבות האפשריות בחישוב בינרי:

(1) 1 ועוד 1 שוה ל־0 ועוד נגררת של 1 (ההעברה דומה להעברת 1 למקום הסיפרה הבאה בחיבור עשרוני); (2) 1 ועוד 0 שוה ל־1; (3) 0 ועוד 0 שוה ל־0.

הבה נבחן עתה כמה פעולות טיפוסיות. נניח כי מבקשים לחבר 6 ו־3 במספרים בינריים.

בינרי		עשרוני
0110	=	6
+ 0011	=	+3
1001		9

נסקור שוב את יסודות הצופן הבינרי כדי לרענן את זכרוננו. ה־1 וה־0 במספר בינרי אומרים אם החזקות המתאימות של 2 נכללות במספר או אינן נכללות בו. המספר הבינרי 0110 פירושו

$$0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$$

או

$$0 \times 8 + 1 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 1$$

או

$$0 + 4 + 2 + 0$$

או

$$6$$

נעקוב אחר החיבור שהדגמנו, 6 ועוד 3, הנעשה בדרך הרגילה, מימין לשמאל, ונמצא כי: 1 ועוד אפס שווה ל־1; 1 ועוד 1 שוה ל־0 עם נגררת של 1 אותה אנו שמים, בזכרוננו, מעל בטור השלישי מימין; בטור השלישי יש לנו עתה 1 ועוד 0 שהם 1, אך בתוספת נגררת של 1, אנו מקבלים 0 עם נגררת לטור הרביעי. בטור הרביעי יש לנו 0 ועוד 0 שהם 0, אולם בתוספת הנגררת מהטור השלישי, אנו מקבלים 1.

כללים פשוטים אלו, מאפשרים חיבור מהיר של מספרים בינריים, גם אם הם גדולים מאד. נשתמש במספרים הקודמים לשם השואה.

בינרי		עשרוני
100001001		265
+010100011	=	+163
110101100		428

הצורה הבינרית עלולה להיראות יותר מסובכת, אך יש להכיר בכך כי הסכום הבינרי מושג ע״י שימוש בשלושה כללים יסודיים בלבד. השיטה העשרונית דרשה כמות גדולה יותר של ידע מוקדם על ספירות עשרוניות והיחסים ביניהן. מבחינה אלקטרונית פשוט יותר להוציא לפועל חבור בינרי מאשר חיבור עשרוני. החבור הבינרי הרבה יותר מהיר כשהוא מבוצע באופן אלקטרוני. כתוצאה מכך משתמשים ברוב־רובם של המחשבים המודרניים בצופן בינרי, במישרין או בעקיפין.

חיבור בסידרה לעומת חיבור במקביל

מן הראוי להדגיש כי בפעולת החיבור שעשינו קודם, פתרנו את הבעיה צעד אחר צעד. בהתחילנו בצד הימני ביותר, חיברנו 1 עם 1 וקבלנו 0 עם נגררת של 1, וכך הלאה. מחשבים אחדים מבצעים פעולות חיבור בדיוק באופן זה. מחשבים אלה נקראים מחשבים סידרתיים (serial), מפני שהם מבצעים את פעולת החיבור צעד אחר צעד. כאשר המהירות חשובה משתמשים בחיבור במקביל (parallel adders). לפני שניכנס לדיון בשיטות חיבור של מחשבים, הבה נבהיר את ההבחנה בין שני סוגים אלה של מחשבים.

ההבחנה בין מחשב סידרתי למחשב מקביל היא הבחנה יסודית המבוססת על הצורה בה מועברים מספרים והוראות מחלק אחד של המחשב לחלק אחר בו. שני סוגי המחשבים מטפלים

במספרים ובהוראות בצורת פעימות חשמליות והיעדר פעימות חשמליות. פעימה מייצגת סבית 1 ואילו העדר פעימה מייצג סבית 0. יש לסדר מערכות אלה של פעימות והיעדר פעימות, כך שאפשר יהיה להבחין את הפעימה (או אי־הפעימה) המייצגת את הספרה הראשונה מזו המייצגת את השניה, וכך הלאה. ההבחנה יכולה להיעשות בשתי דרכים. דרגת החשיבות של הפעימה יכולה להיקבע על ידי התיל בו היא עוברת או על ידי הרגע בו היא מתרחשת. בהתאם לכך פעימות ואי־פעימות המייצגות ספרות של מספר יכולות להתקיים בבת אחת על תילים נפרדים (פעולה במקביל), או לבוא זו אחר זו על תיל אחד (פעולה בסידרה). מכיון שבמחשב מקביל מתקיימות כל הספרות של המספר על תילים מקבילים, אם רוצים לחבר שני מספרים יש לספק מעגל חיבור נפרד לכל זוג סביות. במחשב סידרתי מטפלים בזוגות הספרות המקבילות של שני המספרים, זה אחר זה, ולכן אפשר לחבר שני מספרים באמצעות מחבר אלקטרוני אחד. מסתבר, אם כן, כי למרות שמחשב מקביל הוא בדרך כלל יותר מהיר ממחשב סידרתי. הוא נוטה להיות גדול יותר ומסובך יותר. על כל פנים שני סוגי המחשבים משתמשים באותם מעגלים יסודיים.

חיבור סדרתי

נניח כי שני המספרים הבינריים שיש לחבר מאוחסנים במונים מתאימים במחשב. כמתואר בציור 2—3. הסבית הימנית (בעלת החשיבות הפחותה ביותר המיצגת 2^0 או 1) של כל מספר, מועברת לקופסה הידועה כ„מחבר". קופסה זו כוללת מעגלים לוגיים אלקטרוניים הגורמים ליצירת התוצאה בהתאם לכללי היסוד של חיבור בינרי. הסכום הנוצר בפלט של המחבר הוא 1 או 0 בהתאם לתוצאה המתקבלת מהחיבור הבינרי.

סבית זו מועברת למקומה של הסבית בעלת החשיבות הפחותה ביותר במונה התוצאה. הנגררת (carry) של פעולת החיבור, 1 או 0, מועברת לאחסנה זמנית בה היא נשמרת עד אשר מתקבל הסכום של שתי הסביות הבאות בסדר החשיבות. התוצאה של סכום זה בתוספת הנגררת שוב מועברים למונה התוצאה ולאחסנה זמנית של נגררת. תהליך זה נמשך עד אשר נשלם חיבור כל הסביות של שני המספרים והסכום הסופי מופיע במונה הפלט.

המרכיבים האלקטרוניים של המחברים שונים ממחשב למחשב.

במחשבים אחדים מורכבים המחברים מאלמנטים מגנטיים, באחרים מטרנסיסטורים.

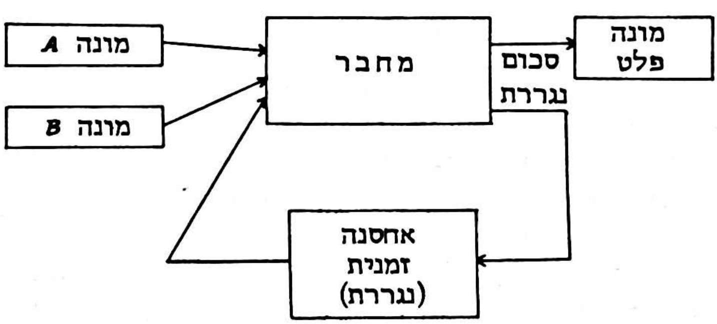
למחבר יש שלשה קלטים ושני פלטים. שנים מהקלטים מיועדים לנתונים והשלישי שמור לנגררת אפשרית מסביות קודמות (הפחות חשובות). הפלטים הם הסכום והנגררת.

מחברים אלקטרוניים

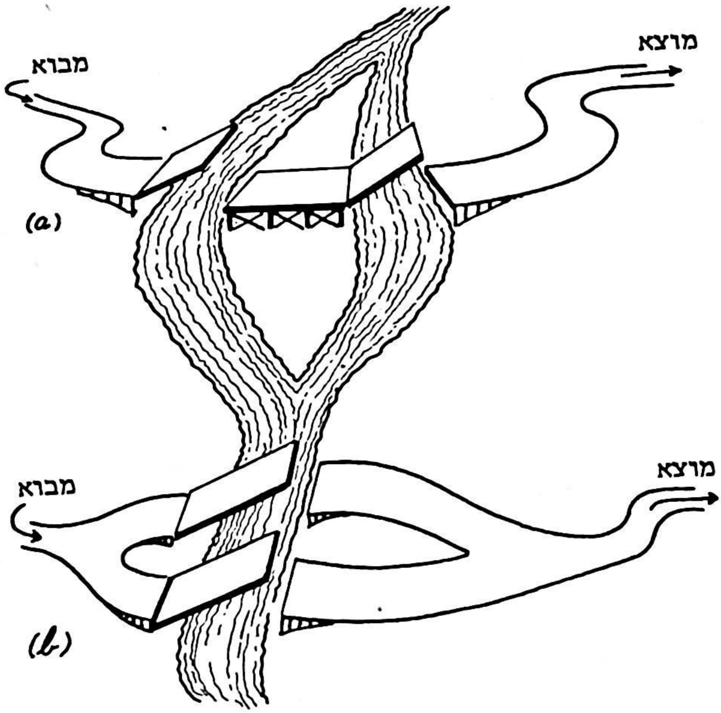
כדי להבין את אופן פעולתו של מחבר, נבהיר קודם כל, כמה טכניקות סיפרתיות יסודיות.

התבוננו במערך המוצג בציור 3—3. בציור נראות שתי דרכים שעל כל אחת מהן שני גשרים מתרוממים. הבה ניתן לכל אחד מהמצבים האפשריים של הגשרים שמות לוגיים ספרתיים. גשר מורד ייצוג על ידי 1 וגשר מורם על ידי 0. (גשר מורד מתיר מעבר בדרך וגשר מורם מונע מעבר). מצבי הגשר מהווים איפוא, קלט ספרתי למערכת הלוגית.

בציור 3—3a, כדי לעבור מקצה לקצה של הדרך צריכים שני הגשרים להיות מורדים; בציור 3—3b — מספיק שאחד מהגשרים יהיה מורד.

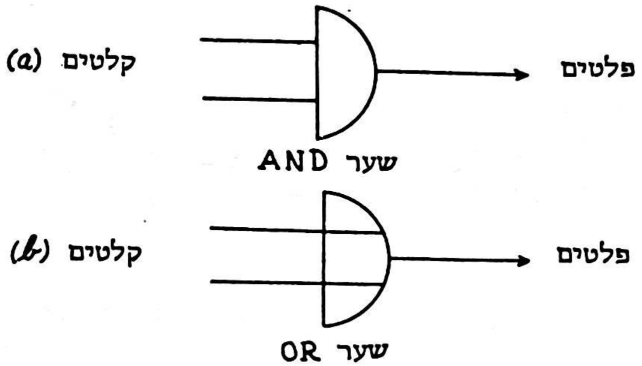


ציור 3—2. במחשבים אלקטרוניים מהטיפוס הסידרתי, מאוחסנים המספרים שיש לחבר, באופן זמני, במונים מהם אפשר לקרוא לסביות זו אחר זו (סבית אחת בכל פעם). מעגל חיבור אחד עונה על כל דרישות החיבור. מוני האחסון הזמניים מורכבים מאלמנטים כגון טרנסיסטורים, בעלי תכונות של סב־סוב (flip-flop) או מאלמנטים מגנטיים.

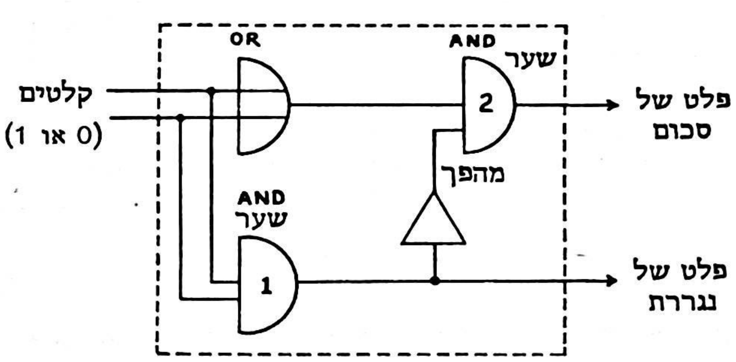


ציור 3—3. רוב פעולות המחשב תלויות בכושרם של המעגלים הלוגיים למלא תיפקודים של AND ו־OR. ב־(א) המעבר מתחילת הדרך לסופה יוצא לפועל רק אם שני הגשרים מורדים — מכאן השם שער AND. ב־(ב) הורדתו של אחד משני הגשרים זה או זה מתירה מעבר — ומכאן השם שער OR.

שווי־הערך האלקטרוניים לדוגמאות פשוטות אלה הם שער AND ושער OR, בהתאמה. הסמלים המקובלים לתיאורם ניתנים בציור 3—4. הבה נגדיר את תיפקודי השערים במונחים של מחשב. בשער AND יופיע 1 בפלט רק אם כל אחד משני הקלטים מכיל 1, אחרת יהיה פלט 0. בשער OR יופיע 1 בפלט גם אם רק אחד משני הקלטים מכיל 1. רק כאשר שני הקלטים מכילים 0, יהיה הפלט של שער OR, 0.



ציור 4—3. הסמלים של שערי AND ו־ OR משמשים לעיתים קרובות לתרשימים סכמטיים של מערכות לוגיות. ב־(א) כדי לקבל 1 בפלט יש למסור לכל אחד משני הקלטים 1. ב־(ב) כדי לקבל בפלט 1 אפשר להזין רק אחד מהקלטים, זה או זה, ב־1.



ציור 5—3. מחבר למחצה, הרכיב הבסיסי של יחידה אריטמתית של כל מחשב אלקטרוני, בנוי משני שערי AND. שער אחד OR ומהפך לוגי. למחבר למחצה אין התקנים לקבלת קלט נגרר משלב קודם של חיבור.

מחבר למחצה

נראה עתה כיצד מצרפים אלמנטים לוגיים פשוטים אלה, כדי למלא את הדרישות של כללי היסוד של חבור בינרי. נגש לבעיה זו בשני שלבים. קודם כל נדון במעגל המסוגל לבצע מחצית מהלוגיקה הנדרשת לחבור בינרי — ומכאן השם מחבר למחצה. ציור 5—3 מתאר מחבר למחצה בסמלים אלקטרוניים.

נסקור שוב את שער OR. תפקידו ליצור 1 לוגי בכל פעם שמגיע 1 לאחד הקלטים או לשניהם ו־0 כאשר שני הקלטים הם 0. שער AND יוצר 1 בפלט שלו רק כאשר שני הקלטים שלו מכילים כל אחד 1. המהפך (inverter) פשוט הופך (משנה מ־1 ל־0 או מ־0 ל־1) את המשמעות הלוגית של האות המגיע לקלט שלו.

התבוננו בציור 5—3, אם שני אותות 1 מוגשים לקלטי המחבר — ייצור שער OR 1 אשר יועבר לאחד מקלטי שער AND השני. שני האותיות 1 מוגשים גם לקלטים של שער AND הראשון. מכיון ששניהם בעלי ערך 1, במקרה זה, ייצור שער זה 1 בפלט שלו. הפלט של שער AND הראשון הוא פלט הנגררת (carry). אולם קלטים של 1 בינרי ועוד 1 בינרי אינם צריכים לתת תוצאה בפלט הסכום, ותנאי זה גם הוא מתמלא במערכת המחבר למחצה. הפלט של 1 בשער AND הראשון משתנה ל־0 על ידי המהפך ו־0 זה מוגש לקלט השני של שער AND השני. מכיון שקלט זה ערכו 0 ומכיוון שכדי ליצור 1 בפלט צריך כל אחד משני הקלטים להיות 1, יהיה הפלט של שער AND השני 0, כפי שנדרש בחיבור הבינרי. נבחן עתה את המקרה בו 1 ו־0 מוגשים לתחנות הקלט של המחבר. שער OR יוצר פלט 1 מכיון שאחד מהקלטים הוא 1. 1 זה נמסר לאחד הקלטים של שער AND השני. בקלטים של שער AND הראשון יש 1 אחד בלבד, לכן לא תיווצר בפלט שלו כל נגררת כפי שנדרש. המהפך הופך את הפלט של שער AND ל־1. אות זה מוגש לקלט של שער AND השני ויחד עם 1 מהפלט של שער OR, הוא גורם ליצירת 1 בפלט של שער AND השני, כלומר בפלט הסכום. באופן זה שוב התמלאו כל הדרישות של החיבור הבינרי.

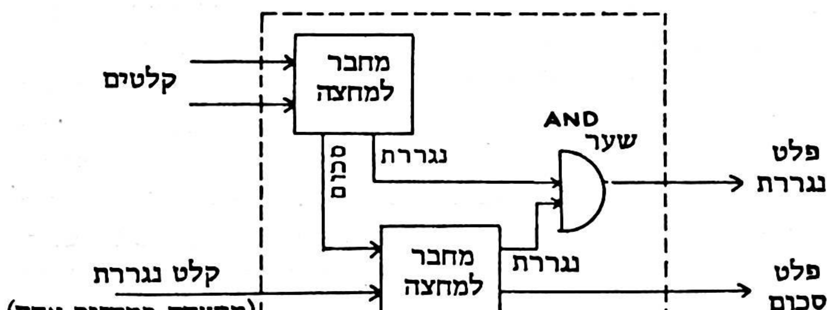
הכלל היסודי האחרון, 0 בינרי ועוד 0 בינרי שווה ל־0 בינרי, מתבצע בדרך דומה. שני 0 המוגשים לשער OR גורמים ליצירת 0 בפלט שלו. תוצאה זו גורמת באופן אוטומטי ליצירת 0 בפלט הסכום, מכיון שלפחות

אחד משני הקלטים של שער AND השני הוא 0. גם בשער AND הראשון לא נוצר בפלט 1, מכיון ששני הקלטים הם 0, ולכן אין לנו פלט של נגררת. למרות שהמהפך מגיש, במקרה זה, 1 לאחד מקלטי שער AND השני, הסכום הוא 0 בגלל סבית 0 שהגיעה משער OR. מן הדין לציין כי השערים, בהיותם אלמנטים לוגיים, אינם מוגבלים לשני קלטים בלבד. אפשר לחבר להם קלטים אחדים בהתאם לדרישות הלוגיות של הבעיה אותה הם צריכים לפתור.

מחבר מלא

אפשר לצרף מחברים למחצה יחד עם רכיב אחד נוסף או שנים, כדי לבצע את התהליך המלא של חיבור בינרי. יש לשים לב כי למחבר למחצה רק שני קלטים ואלו למחבר מלא (full adder) דרושים שלושה קלטים (אחד בשביל הנגררת מהספרה הקודמת הפחות חשובה). אם יציב הקורא במקום המחברים למחצה שבציור 6—3, את רכיביהם המובאים בציור 5—3, יובהר הדבר הבהר־היטב.

בעזרת סדורים מתאימים של איחסון ועיתוי, מסוגל מחבר למחצה יחיד לבצע את רוב החשובים הנדרשים ממחשב אלקטרוני. אילו היו משתמשים בסידורים כאלה הם היו מקנים למחשב איטיות וחוסר גמישות. לכן, ערכו יצרני מחשבים שכלולים רבים במחבר למחצה היסודי, והשתמשו



ציור 6—3. כדי למלא את הדרישות של חיבור בינרי, דרושים למחבר בינרי שלשה קלטים ושני פלטים. המחבר מורכב משני מחברים למחצה ומשער AND. בעזרת מעגלי עיתוי מתאימים יכול מחבר בודד לבצע פעולות אריתמטיות רבות ושונות.

בשכלולים אלו בצירופים שונים כדי להשיג את התוצאות המבוקשות במהירות רבה. במחשבים מסוימים אפשר לחבר מספרים בני שלושים ושש סביות בפחות ממליונית של שניה. צמצום זמן החבור היסודי, מגביר באופן בלתי נמנע את מהירותן של פעולות אחרות מפני שכולן קשורות או תלויות בחבור.

יש להבין כי, לעיתים רחוקות מתענין המשתמש במחשב בתהליך האלקטרוני המשמש לביצוע פעולות חשבוניות. התכניתן רק מציין את שני המספרים שיש לעבד, גורם לכך שיועברו למקום מסוים במחשב בו אפשר לעבדם, ומחולל תהליך בו כל הצעדים הנדרשים לפעולה מבוצעים באופן אוטומטי וביעילות.

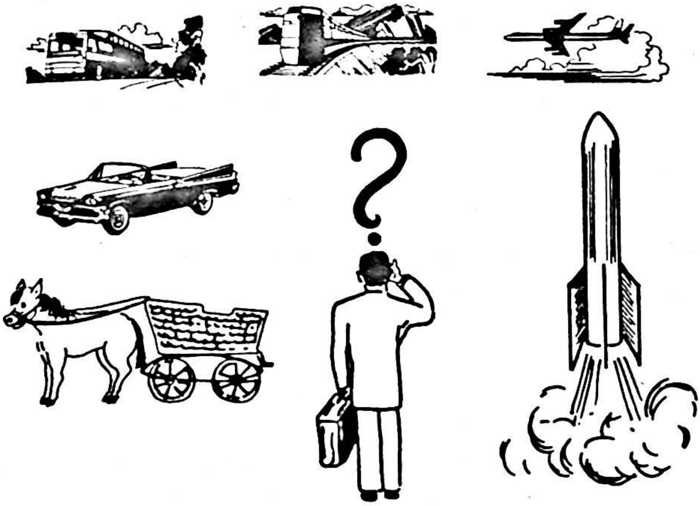
4

תכנות למחשבים ספרתיים

אדם הנמצא בלב העיר ניו־יורק ורוצה לנסוע לוושינגטון עומד בפני בעיה הדורשת פתרון (ראה ציור 1—4): האם ילך ברגל או ירוץ, ינהג את מכוניתו או ייסע באוטובוס או ברכבת, יטוס במטוס או בטיל מונחה? הליכה ברגל היא פתרון עגום מסיבות ברורות. הובלת אדם בטיל מונחה עשויה היתה להיות אפשרות, אבל בחירה זו מגוחכת באותה מידה.

בחירת הנתיב

לאחר שנבחר כלי תעבורה, עליו לשקול גורמים נוספים להשלמת הפתרון. נניח כי בחר לנהוג את מכוניתו. באיזה נתיב יסע, איזה מנהרה או גשר יבחר כדי להגיע לניו־ג׳רסי? האם ישתמש בכביש האגרה המהיר של ניו־ג׳רסי או בכביש החופשי המקביל לו למעשה? האם יש קיצורי דרך כל שהם? האם כדאי לו לשלם כמה סנטים בשביל שימוש במנהרת נמל בלטימור ועל ידי כך לחסוך זמן ניכר, או אולי עליו לנסוע דרך העיר בלטימור ולחסוך כסף? כאשר הוא מגיע לפרבריה של וושינגטון (ובעצם בעייתו נפתרה) עליו לשקול מהי הדרך הטובה ביותר להגיע ליעדו המסוים בעיר. עליו להחנות את מכוניתו ולהגיע לבוש באורח ההולם את המאורע בו יהא נוכח. בסקירה חוזרת על



ציור 1—4. כאשר ניצבת בפניו בעיה, חייב אדם קודם כל לבחור את האמצעי המתאים שיעזור לו להגיע לפתרון. בנסיעה עליו לבחור קודם כל את כלי התעבורה.

מצבו של האיש, אנו נוכחים כי בהגיעו לפתרון הבעיה הוא מוצא עצמו עומד בפני מספר בעיות משנה קטנות יותר. אדם בעל נסיון בקביעה נאותה של החלטות, יפיק יותר מאפשרויותיו המוגבלות מאשר אדם חסר נסיון. הוא יכול להגיע לוושינגטון בדרכים שונות רבות, אחדות מהן זולות, אחדות יקרות, אחדות מהירות ואחדות נוחות יותר מאחרות.

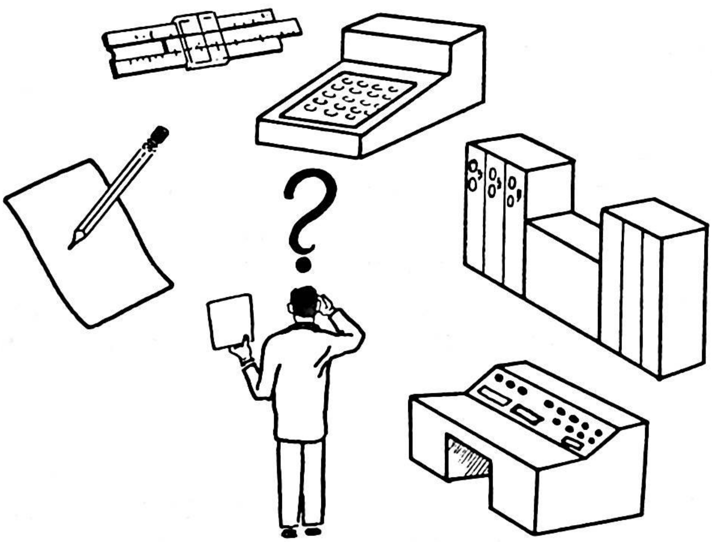
בחירת כלי חישוב

בפתרון בעיה מתמטית המצב די דומה. עומדים לרשותנו עזרים רבים לפתרון הבעיה, כגון ניר ועפרון, סרגלי חישוב, מכונות חישוב שולחניות, ומחשבים קטנים, גדולים ובינוניים (ראה ציור 2—4). בשלב ראשון עלינו לבחור כלי־העזר. בבחירה יש לשקול שני גורמים, יכולתנו להשיג את העזרים השונים ותרומתם לפתרון הבעיה. כדי לחבר 2 ועוד

2 לא דרוש לנו כל עזר. לחשובים פשוטים בהם נתקלים רק לעיתים ובכמויות מוגבלות, יספיקו ניר ועפרון. סרגלי חישוב ומכונות חישוב שולחניות הם מהירים וגמישים יותר, ואילו מחשבים אלקטרוניים מתאי־מים לפתרון בעיות הכרוכות בכמויות גדולות של נתונים, במהירות גבוהה ובדיוק כמעט בלתי מוגבל.

בחירת „הנתיב"

לאחר שנבחר העזר המתאים מתעוררת שאלת ה„נתיב". נשקול, לדוגמה את הבעיה של פתרון המשואה האלגברית $y=ba+ac$, לגבי



ציור 2—4. לצורך ביצוע פעולות חישוב, על האדם לבחור את האמצעי המתאים ביותר מבין עזרים רבים, כמו סרגל חשוב, מכונת־חישוב שולחנית ומחשב אלקטרוני. מכיון שהמחשב הוא אוטומטי, יש לתכנת את פעולות החישוב בצורה כזאת שהן תבוצענה במהירות וביעילות מירביות.

ערכו של y כאשר a, b ו־c נתונים. אפשר לפתרון בעיה זו על ידי הכפלת a ב־b, אחר כך הכפלת a ב־c ולבסוף חיבור שתי המכפלות. מטמטיקאי מנוסה יראה מיד כי המשואה $y=a\ (b+c)$ שוות־ערך למשואה הראשונה. באמצעות „נתיב" זה או משואה זו הוא יכול לקבל את התוצאה בשני צעדים במקום בשלושה. עליו, פשוט, לחבר את b ו־c ולכפול את תוצאת החיבור ב־a.

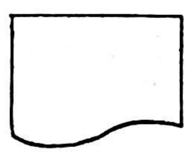
אולם גם בדוגמה פשוטה זו יש לשקול, בבחירת הנתיב כמה גורמים פחות ברורים. עד כמה שהדבר מפתיע, בתנאים מסוימים עלולות התוצאות שתתקבלנה בשתי הדרכים הנ"ל להיות שונות זו מזו. (הסיבה להבדלים היא במידת מה מסובכת וקשורה בטכניקות העיגול של מחשבים דבר זה יוסבר מאוחר יותר).

קבלת החלטות מסוג זה, או בחירת נתיב הפתרון, היא תפקידו של **התכניתן של המחשב**. יש להבין כי עם הדרכה מועטה מאוד, אפשר ללמד אפילו ילד קטן לכתוב תכניות למחשב גדול, כשם שאפשר ללמד אותו להחליט אם לנסוע לוושינגטון דרך אלסקה או דרך בלטימור. למרות הכל, הבעיות המוטלות על מחשבים שונות בהרבה מובנים. שמוש יעיל בציוד לעיבוד נתונים ולחישוב תלוי ישירות בכושר האמצאה של התכניתן ובנסיונו.

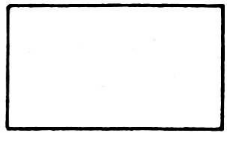
קביעת נתיב הפתרון נעשית תוך כדי עריכת תרשים של שלבי העיבוד והחישוב. בעריכת התרשים משתמשים בסימנים מוסכמים. כדי לבנות תכנית יעילה לפתרון הבעיה המוטלת עליו, על התכניתן להכיר את המחשב העומד לרשותו באופן מפורט. עליו לדעת מהן חולשותיו, כדי להימנע מהכנסתן בתכניתו, אך עליו גם לדעת מהן מעלותיו של המחשב, כדי לנצלן כיאות.

את התרשים של התכניתן יש לתרגם לשפה אותה יכול המחשב להבין.

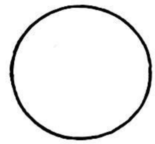
סמנים מוסכמים לתיאור תהליכי עיבוד במחשב



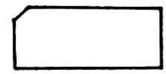
סמל למסמכי קלט או פלט — מראה נתונים או אינפורמציה נכנסים למחשב או יוצאים ממנו.



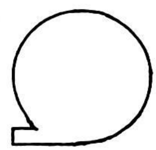
סמל פעולה — מציין פעולות כמו מיון, חישוב או יצירת פלט — הדפסה, ניקוב, רישום על סרט וכד'.



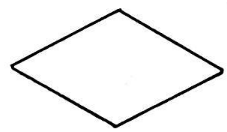
סמל קובץ — מייצג נתונים מאוחסנים בצורה מאורגנת.



סמל כרטיס — מייצג נתונים מאוחסנים בכר־טיסים מנוקבים.



סמל סרט מגנטי — מייצג נתונים מאוחסנים על סרט מגנטי.



סמל החלטה — מראה כי יש לברור בין שניים או שלושה נתיבים, על בסיס של השוואה בין נתונים, או מצבים שונים.



סמל קישור — מזהה מקום שפריט או פעולה מסוימים באים ממנו או הולכים אליו.



קו וחץ — מציין זרימה של פעולות או נתונים.

בעיה פשוטה ותכנית פשטנית לפתרונה

הבה נבחן תכנית, הבנויה צעד אחר צעד, לפתרון הבעיה הפשוטה שהיצגנו קודם: $y=ab+ac$. נניח כי הכנסת הנתונים והפקודות, או ההוראות, למחשב נעשות ביד (לדוגמה, שימוש במכונת כתיבה מיוחדת הקשורה למחשב, אשר מעבירה בכל נקישה ספרה אחת). התכניתן מתחיל בלחיצת המקש המנקה את המחשב מכל אינפורמציה שהיתה עלולה להישאר בו, מבעיות קודמות. לאחר מכן הוא לוחץ על המקש המורה למחשב כי הוא עומד להכניס נתונים.

לחיצה זו מכינה את המכונה לפעולה. לאחר זאת הוא לוחץ על מקש (או מקשים) המזהים אתר מסוים או כתובת בזכרון של המחשב. בעקבות פניה זו הוא מכניס את הנתון הראשון, במקרה זה הערך של a. הערך של a יכול להיות מורכב מכל מספר ספרות שהוא, בהתאם לגודל

אתר הזיכרון אליו פנה. הצעד הבא היא לחיצת המקש הגורם להעברת הנתון לכתובת שיועדה לו.

בשני צעדים דומים, המפנים לאתרים אחרים בזיכרון, הוא מכניס את הערכים של b ושל c. כל הנתונים הדרושים הוכנסו לזיכרון והתכניתן חייב עתה להורות למחשב מה לעשות בהם. עתה הוא לוחץ על מקש האומר למחשב כי הוא עומד להזין בהוראות או פקודות. הפקודות שהתכניתן בוחר מכילות סמלים המחוללים תכניות או תהליכים פנימיים של המחשב. לדוגמה, הוא מורה למחשב: קח את הנתון המאוחסן בכתובת 0001 (הערך של a, מקרה זה) כפול אותו בנתון המאוחסן בכתובת 0002 (הערך של b, במקרה זה) ואחסן את המכפלה בכתובת 0004. הפקודה הבאה היא: קח את הנתון המאוחסן בכתובת 0001, כפול אותו בנתון המאוחסן בכתובת 0003. (הערך של c) ואחסן את המכפלה בכתובת 0005. לאחר מכן הוא פוקד על המחשב לקחת את הנתון מכתובת 0004, לחבר אותו לנתון הנמצא בכתובת 0005 ולשים את התוצאה במונה פלט או באתר זיכרון אשר ממנו אפשר יהיה להדפיס את התוצאה באופן אוטומטי החוצה, על גבי מכונת הכתיבה.

לבסוף, לאחר שאחסן את כל הנתונים והפקודות הוא לוחץ על המקש המורה למחשב למלא את הפקודות בסדר עוקב. כאשר מסתיים החישוב מופיעות התוצאות כפי שנדרש מהמחשב. (ראה ציור 3—4).

הבעיה דלעיל, כשלעצמה, אינה מעשית לפתרון במחשב. הזמן הדרוש להכנסת הנתונים והפקודות עולה לאין שעור על הזמן הדרוש לחישוב עצמו. מכיון שהבעיה כוללת רק שתי מכפלות וחיבור אחד, אפשר היה לקבל את התוצאה לפני שהתכניתן היה מספיק להרים את אצבעו מהמקש אשר חולל את החישוב.

התרת בעיות מדעיות

המשואה הרבועית טיפוסית לתיכנות עבודות מדעיות.

בעבודות מדעיות מכילות המשואות כמות בלתי ידועה, לדוגמה, $3x^2 + 5x - 2 = 0$. מכיון שמשואה זו מכילה ריבוע של כמות בלתי ידועה היא נקראת משואה ריבועית. משואות כאלה מופיעות לעיתים קרובות בתכנון הנדסי.

התכניתן של המחשב מתיחס למשואה זו כאל משואה תקנית בה אותיות מחליפות את המספרים. המשואה לגביו היא $ax^2 + bx + c = 0$. a, b ו־c נקראים מקדמים. צורה זו נקראת משואה ריבועית כללית. התרת

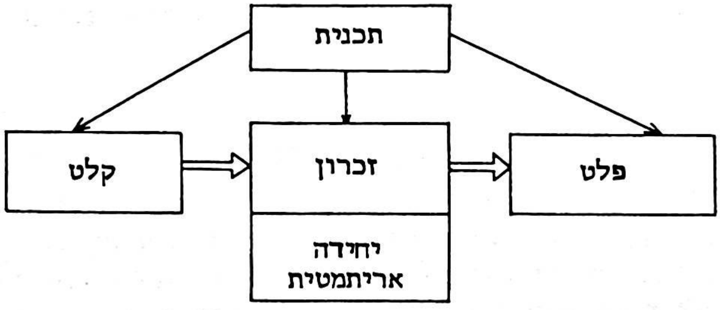
משוואות בעלות גורם בלתי ידוע נקראת פירוק לגורמים. למטמטיקאי מנוסה התשובה מתבררת, לעיתים קרובות מהתבוננות בלבד, אך בדרך כלל משתמשים בנוסחה הבאה כדי להגיע לפיתרון.

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

כדי להגיע לפתרון באמצעות מחשב ספרתי, מכניסים לזיכרון ערכים בשביל a, b ו־c. התכנית מורכבת מהצעדים הבאים: (1) חשב b^2 על ידי הכפלת הערך של b בעצמו והעברת התוצאה לתא אחר בזיכרון; (2) חשב 4ac– על ידי הכפלת המכפלה של a ו־c ב־4 והעברת התוצאה לתא זיכרון נפרד; (3) חסר 4ac מ־b^2 והפעל שיגרת הוצאת שורש ריבועי בשביל התוצאה (כדי להשיג $\sqrt{b^2 - 4ac}$) והחזר את התוצאה לזיכרון; (4) הפחת את התוצאה מ־b–(הנלקח מתא הזיכרון המקורי של b) ואחסן את התוצאה $-b - \sqrt{b^2 - 4ac}$ (5) חשב 2a וחלק בו את התוצאה הנ"ל. מחישוב זה מושג ומודפס החוצה אחד משני הערכים האפשריים של x. בדרך דומה מקבלים את הערך השני:

$x = -b + \sqrt{b^2 - 4ac} / 2a$ המשלים את פתרון הבעיה.

אם כי בעיה זו עלולה להיראות מסובכת, הפתרון מושג בשבר של שניה. בחישובים חוזרים המחשב מנקה את זכרונו באופן אוטומטי לאחר הדפסת התוצאות ומקבל את המקדמים החדשים מהתקן הקלט או ממערכת הזיכרון.



ציור 3—4. תפקידו של התכניתן לערוך תרשים של הדרך הטובה ביותר בה יפתור המחשב את הבעיה. התכניתן בוחר את דרך הפעולה בהתאם לחשיבות היחסית של מהירות, כמות החישוב, הציוד שעומד לרשותו וגורמים אחרים.

סוגי פקודות

לכל דגם מחשב מערכת פקודות משלו התואמות את מבנהו ואת המעגלים הלוגיים שלו. כמספר דגמי המחשבים כן מספר המערכות השונות של הפקודות. בדרך כלל, ככל שהמחשב גדול יותר ומשוכלל יותר, רב יותר מספר הפקודות להפעלתו, ומספר הפעולות (או המעגלים) שכל פקודה מחוללת. אף על פי כן נחלקת כל מערכת פקודות, מבחינה מהותית, לארבעה סוגים עיקריים: פקודות להפעלת ציוד הקלט והפלט של המחשב, פקודות לביצוע חישובים, פקודות להעברת נתונים בין היחידות השונות של המחשב ופקודות החלטה וניתוב.

נחזור לדוגמת החישוב שהיצגנו קודם לכן ($y=ab+ac$), וננסה להבהיר באמצעותה את סוגי הפקודות שמנינו. לצורך זה נניח עתה כי הנתונים שיש לחשב מצויים בכרטיסים מנוקבים. כל כרטיס מכיל שלשה שדות של נתונים: a ; b ; c, ויש לחשב בשבילו את ערכו של y, על פי הנוסחה הנ"ל. הכנסת הנתונים לזיכרון המחשב נעשית באמצעות התכנית ע"י פקודת קריאה. פקודת הקריאה מפעילה את ציוד הקלט של המחשב, המגשש את הכרטיס ויוצר פעימות חשמליות כאשר הוא נתקל בנקבים. הפעימות מועברות לזיכרון המחשב וגורמות לאחסון הנתונים בו. (הסבר מפורט ניתן בפרקים 6 ו־7). עתה על התכנית להורות למחשב לבצע את החישוב. החישוב כפי שנוכחנו נעשה ביחידה האריתמטית של המחשב, לכן צריך לפני כל פקודת חישוב להעביר את הנתונים מהזיכרון ליחידה האריתמטית באמצעות פקודת העברה או אחסון ורק לאחר מכן לתת פקודת חישוב. בדוגמה, פקודות החישוב הן: כפול וחבר. לאחר כל פקודת חישוב יש להחזיר את התוצאה לזיכרון כדי לפנות את היחידה האריתמטית לחישוב הבא. החזרה זו נעשית שוב באמצעות פקודת העברה או אחסון. נניח כי אנו מבקשים בנוסף לחישוב להדפיס את הנתונים a ; b ; ו־c ואת ערכו של y בשביל כל כרטיס. לצורך זה על התכנית להורות למחשב להעביר את הנתונים ואת ערכו של y מהזיכרון אל המדפסת שהיא ציוד פלט, ולאחר מכן לתת פקודת הדפסה. בזה נשלם עיבודו של כרטיס בודד והתכנית מחזירה את המחשב לפקודת הקריאה, כדי להזין פנימה את הנתונים של הכרטיס הבא. ההחזרה לתחילתו של התהליך היא פקודת ניתוב פשוטה.

נבחן עתה פקודת ניתוב הנובעת מהחלטה. נניח כי אם ערכו של

a הוא אפס, אין אנו מעונינים בביצוע החישוב. כדי לענות על דרישה זו, צריך לפני ביצוע החישובים של כל כרטיס, לבדוק את ערכו של a על ידי השואתו לאפס. התכנית תכלול איפוא, אחרי פקודת הקריאה, סדרת פקודות החלטה וניתוב בנוסח הבא: השוה את ערכו של a עם אפס, אם a שונה מאפס פנה לסדרת פקודות החישובים, אם a שווה לאפס פנה לפקודת הקריאה (לצורך קריאת הכרטיס הבא). סדרת פקודות כזאת נקראת שגרה משנה (subroutine). סדרת פקודות החישובים, היא במקרה זה, השגרה העיקרית (main routine) ואילו התכנית כולה נקראת שגרה (routine).

מבני פקודות

מן האמור לעיל יובן שרוב פקודות המחשב צריכות להכיל לפחות שני גורמים. הראשון הוא סמל הפעולה, האומר למחשב מה יש לעשות או אילו מעגלים יש לחולל. השני הוא מושא הפעולה כלומר, כתובת של תא בזיכרון, האומרת מהיכן יש לקחת נתון מסוים (או פקודה) או היכן יש לאחסנו. ישנן כמובן פקודות בהן לא נדרשת כתובת. פקודות אלה נוגעות בעיקר להתחלה ולסיום של העיבוד ולציוד קלט־פלט. כדי לקרוא נתונים אין צורך במתן כתובת אלא בסמל הפעולה בלבד, מכיון שהנתונים נכנסים אוטומטית למאגר אחסון מיוחד. הוא הדין בפקודת הדפסה, אך בכיוון הפוך: הנתונים מודפסים החוצה ממאגר אחסון של המדפסת. מבחינת מבנה הפקודה מחלקים את המחשבים לשלושה סוגים: מחשבים שהפקודות שלהם בעלות כתובת אחת, מחשבים שהפקודות שלהם בעלות שתי כתובות ומחשבים שהפקודות שלהן בעלות שלוש כתובות.

מספר הכתובות של פקודה נקבע בהתאם למבנה המחשב. נסביר את ההבדלים באמצעות דוגמה של פעולת חיבור שני מספרים ואחסון התוצאה בזיכרון. במחשבים מהסוג הראשון נעשית פעולה זו בשלושה צעדים. ראשית, מאחסנים את המחובר במונה מסוים של היחידה האריתמטית, על ידי פקודת אחסון מיוחדת למונה זה, המכילה את הכתובת המציינת היכן בזיכרון נמצא המחובר. לאחר מכן מחברים את המחבר למונה על ידי פקודת חיבור עם כתובת המחבר. לבסוף מעבירים את התוצאה מהמונה לזיכרון על ידי פקודת אחסון אחרת, המכילה את כתובת תא הזיכרון בו יש לאחסן את התוצאה.

במחשבים מהסוג השני נעשית הפעולה בשני צעדים. במקום אחסון וחיבור יש פקודת חיבור עם שתי כתובות. הכתובת הראשונה מציינת את מקומו בזיכרון של המחבר ואלו השניה את מקום המחובר שהוא גם מקום התוצאה. כדי לאחסן את התוצאה במקום אחר בזיכרון יש לתת פקודת העברה או אחסון בעלת שתי כתובות. הכתובת הראשונה הוא מקום התוצאה והשניה מקום האחסון המבוקש.

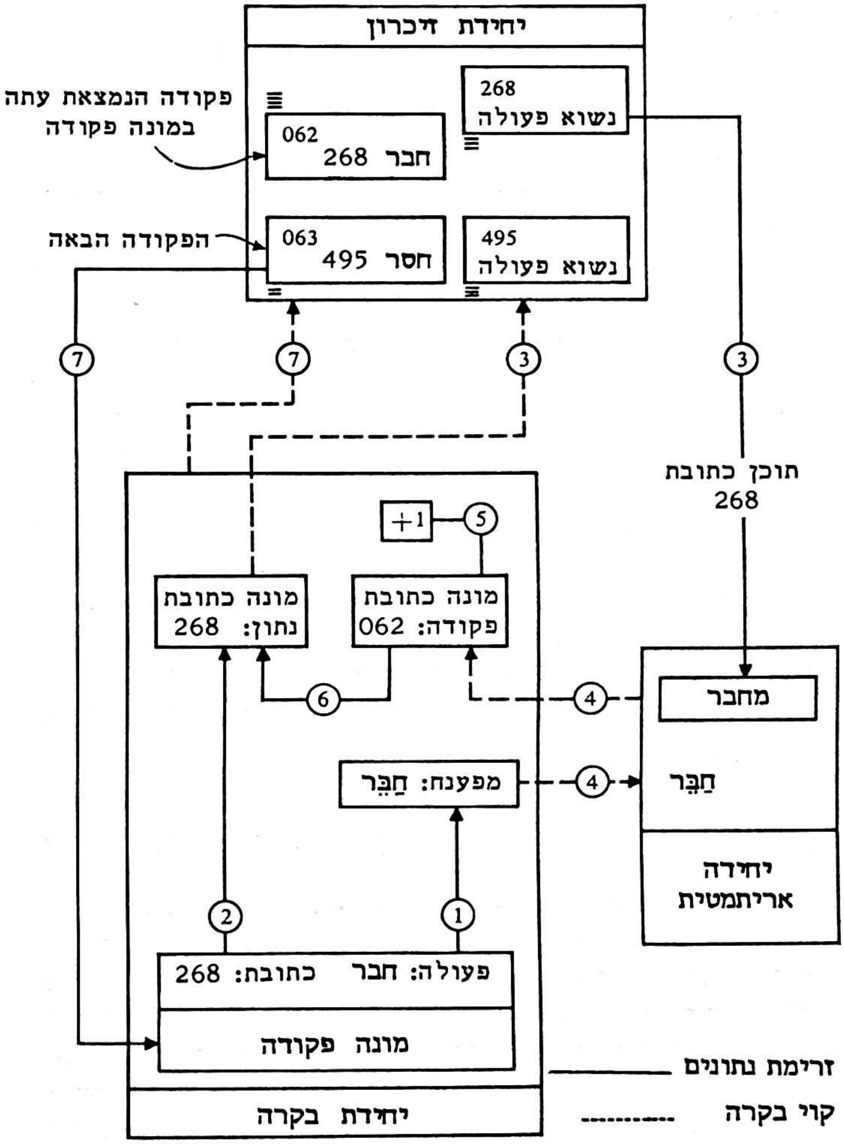
במחשבים מהסוג השלישי נעשית הפעולה בצעד אחד. פקודת החיבור מכילה, כפי שניתן לצפות, שלוש כתובות. השתים הראשונות מציינות את מקום הימצאם של הנתונים והשלישית — את מקום בו יש לאחסנם.

במערכת פקודות שונות נלווים לרכיבים הראשיים של הפקודות (סמל — פעולה וכתובת או כתובות) סמלים נוספים בעלי תפקידים מסוימים. מן הראוי לעמוד על רכיב אחד נוסף הנמצא בשימוש במרבית מערכות הפקודות. רכיב זה או סמל זה מייצג מונה מקדם (index register) מסוים ומציין, כי בעת ביצוע הפקודה יפנה המחשב לא לכתובת המפורשת בפקודה, אלא לכתובת הנוצרת כתוצאה מחיבור תוכן המונה לכתובת המפורשת. פירוש הדבר, שאם הכתובת המפורשת בפקודת חיבור היא לדוגמה, 1005 ותוכן המונה המקדם הוא 5, יחבר המחשב לא את הנתון הנמצא בכתובת 1005 אלא את. הנתון הנמצא בכתובת 1010 (1010=1005+5). השימוש במונים מקדמים יכול לחסוך פקודות רבות בתכנית ולכן גם לחסוך מקום בזיכרון. כמו כן הוא פוטר את התכניתן מלחשב איזו כתובת דרושה לכל מחזור עיבוד.

יחידת הבקרה של המחשב

נראה עתה כיצד מבצע המחשב את הפקודות הניתנות לו בתכנית, או במלים אחרות מפעיל את היחידות השונות, כדי להשיג את התוצאה הנדרשת של הפקודה. יחידת המחשב הדואגת להפעלת היחידות האחרות היא יחידת הבקרה. כדי להמחיש את אופן הפעולה של יחידת הבקרה נסתייע בתרשים שבציור 4—4 ונסתפק בהפעלת היחידה האריתמטית ויחידת הזיכרון בלבד.

באופן פשטני למדי ניתן לתאר את פעולת יחידת הבקרה בשלבים הבאים: יחידת הבקרה קוראת את הפקודה, המאוחסנת באתר מסוים בזיכרון, לפי הכתובת המופיעה במונה כתובת הפקודה. לאחר מכן היא מפענחת את הפעימות של הפקודה שהתקבלה מהזיכרון. הפעימות



ציור 4—4. פעולת יחידת בקרה במחשב, שפקודותיו בעלות כתובת אחת.

נחלקות לשתי סדרות לפחות, סדרת פעימות המציינת את הפעולה שיש לבצע (סמל הפעולה) וסדרת פעימות (או סדרות של פעימות) המציינות את הכתובת ממנה יש לקחת נתונים או בה יש לאחסן נתונים. לאחר הפיענוח דואגת יחידת הבקרה לביצוע הפקודה, או במלים אחרות, להפעלת היחידות הנוגעות בדבר. לאחר הביצוע קוראת יחידת הבקרה את הפקודה הבאה בתור, או פקודה אחרת בהתאם להכוונתו של מונה כתובת הפקודה.

שימו נא לב, כי הפקודות המאוחסנות בזיכרון מנותבות ליחידת הבקרה ואילו הנתונים — ליחידה האריתמטית.

הבה נתבונן מה מתרחש בתרשים, ולמעשה, בצורה פשטנית, במחשב. כדי להקל על העיקוב סומנו קווי הזרימה במספרים ותיאורינו יתיחס למספרים אלה.

1. סמל הפעולה של הפקודה, „חבר", מועבר ממונה הפקודה למפענח (decoder).
2. חלק הכתובת של הפקודה, 268, מועבר ממונה הפקודה למונה כתובת הנתון.
3. מונה הכתובת מפעיל את העברת תוכן הכתובת 268 מהזיכרון אל היחידה האריתמטית.
4. ביצוע הפעולה הנדרשת, חיבור, ביחידה האריתמטית והודעה ליחידת הבקרה כי הפעולה נשלמה.
5. הגדלת המספר 062 במונה כתובת הפקודה, ב־1, ל־063, כדי לציין את כתובת הפקודה הבאה.
6. העברת המספר 063 ממונה כתובת הפקודה אל מונה כתובות.
7. העברת הפקודה הנמצאת בכתובת 063, „חסר 495", אל מונה הפקודה.

לכל פקודה יש, איפוא, מחזור קריאה הנקרא מחזור הפקודה (instruction cycle) ומחזור ביצוע (execution cycle). התהליך המתואר יימשך לפי הסדר הנתון ויפסק כאשר התכנית מורה למחשב לעצור את הפעולות או כאשר מתעוררים מצבים מסוימים המאלצים להפסיק את העיבוד. שתי דוגמאות אופיניות למצבים כאלה הן היתקלות בפקודה חסרת־תקיפות, כלומר שהמחשב אינו מכיר אותה, וגלישת נתונים מהמחבר או מהזיכרון, כלומר חוסר יכולת של היחידה האריתמטית להכיל את כל הנתונים הנוצרים בה, או של הזיכרון להכיל את כל הנתונים הנמסרים לו.

שפות תיכנות

לפנינו פקודת חיבור בעלת כתובת אחת, כתובה בחמישה צפנים שונים:

כתובת מושא הפעולה וסוג הצופן		סמל הפעולה וסוג הצופן		מס׳ סודר
1001110101	בינרי	11011	בינרי	1
1165	אוקטלי	33	אוקטלי	2
629	עשרוני	27	עשרוני	3
629	עשרוני	A	מנמוני*	4
SACHAR	סמלי	ADD	מנמוני	5

מבין חמישה הנוסחים יכול המחשב לקרוא ולהפעיל את הראשון בלבד, הכתוב בצופן בינרי. את ארבעת האחרים יש לתרגם לצופן בינרי טהור, או לצופן עשרוני על בסיס בינרי. הסדר בו מופיעים צפני הפקודות שהדגמנו, מצביע הן על התפתחות שפות התכנות בעבר והן על מגמת ההתפתחות לעתיד. פיתוח שפות התיכנות נוטה לכיוון של פישוט עבודות התיכנות והתקרבות שפת התיכנות, במידה רבה ככל האפשר, לשפת אנוש רגילה.

התרגום של הפקודות השניה והשלישית, לצופן בינרי, היא פעולה חשבונית רגילה הנעשית במחשב, באמצעות תכנית מיוחדת להמרת צפנים. לעומת זאת, כדי להמיר צפנים מנמוניים, כאלה המופיעים בדוגמאות ארבע וחמש, דרושות טבלות תרגום המכילות את הצפנים הבינריים המתאימים, לכל פקודה.

אולם, המרת כתובות סמליות, כזו המופיעה בדוגמה החמישית, לכתובות מוחלטות בזיכרון המחשב — הנה הרבה יותר מסובכת. המרה זו נעשית על ידי תכניות תרגום מיוחדות, שפותחו על ידי יצרני המחשבים. תכניות תרגום אלה (assemblers), קובעות כתובת מוחלטת בזיכרון לכל כתובת סמלית המופיעה בתכנית. התכנית שכתב התכניתן בשפה סמלית ומנמונית נקראת תכנית מקורית (source program), ואילו התכנית המתורגמת, המוכנה לעיבוד במחשב, נקראת תכנית פעילה (object program).

* מנמוני — סמל המסייע לזכירת מהות הפקודה.

השימוש בתכניות תרגום הביא לפיתוחן של שגרות־משנה קבועות (subroutines), כלומר סדרות קבועות של פקודות, המיועדות לפתרון בעיות חוזרות האפיניות לתכניות שונות. אוסף של שגרות כאלה קרוי ספריה, ונמצא מוכן לפעולה על סרט מגנטי או דיסקה. התכניתן יכול להשתמש בשגרות־משנה כאלה על ידי פקודת־קריאה מיוחדת לשגרות אלה. תכנית התרגום הנתקלת בפקודה כזאת, מכניסה את השגרה המבוקשת לתכנית של התכניתן, תוך כדי תהליך תרגום התכנית המקורית לתכנית פעילה.

שפות תיכנות מוכוונות למחשב
לעומת שפות תיכנות מוכוונות לבעיה

נוסח הפקודה שתואר בדוגמה החמישית ונוסחים אחרים משוכללים יותר, מיועדים להקל על יחסיו של התכניתן עם המחשב ולכן אפשר לקרוא לשפות תיכנות המורכבות מפקודות כאלה, שפות תיכנות מוכוונות למחשב (Machine-oriented languages) אולם, כאשר מתקינים מערכת פקודות לסוג מסוים של בעיות, כמו בעיות של עיבוד נתונים מינהלי, מן הראוי לקרוא למערכת פקודות כאלה, שפת תיכנות מוכוונת לבעיה. (Problem-oriented languages)

שני סוגי השפות רחוקים במדה קטנה או גדולה מהשפה הבסיסית של המחשב. ככל ששפת התיכנות רחוקה משפת המחשב, פשוטה יותר עבודת התיכנות, אך לעומת זאת, מסובכת ומורכבת יותר התכנית, ההופכת את תכנית המקור לתכנית פעילה, כלומר לשפת המכונה. מטבע הדברים, שפות התיכנות המוכוונות לבעיה רחוקות יותר משפת המחשב, מאשר שפות התיכנות המוכוונות למחשב: הראשונות גם נחשבות לשפות בעלות רמה גבוהה יותר מאשר זו של השניות.

תרגום שפות תיכנות לשפת המחשב

ישנן שלוש שיטות להמרת שפות תיכנות — שאינן בשפת המחשב — לשפת המחשב. שיטות אלה הן: תרגום (Assembly), פירוש (Interpretation) והרכבה (Compilation). התכניות המתאימות נקראות: תכנית תרגום (Assembler), תכנית פירוש (Interpreter) ותכנית הרכבה (Compiler).

תרגום משפה מוכוונת למחשב לשפת המחשב הוא פשוט וישיר. התרגום כולל המרת פקודות מנמוניות לפקודות בשפת המחשב ומתן כתובות מוחלטות בזיכרון לכתובות סמליות. תרגום זה יכול להיעשות גם על ידי התכניתן עצמו, לאחר כתיבת התכנית המקורית, אך הוא נעשה, כמובן, על ידי המחשב, באשר המטרה היא להקל את עבודת התיכנות. מתן כתובות מוחלטות בזיכרון, לכתובות סמליות — כולל את הפעולות הבאות: (1) בנית טבלת סמלים, כדי למצוא היכן בזיכרון יש להציב את הפקודות ונשואי־הפעולה של הפקודות, (2) מתן כתובות זיכרון מוחלטות לכתובות הסמליות של נשואי הפעולה של הפקודות.

כאשר תכניתן משתמש בשגרות־משנה המצויות בספריה, הוא מציין בתכניתו אילו שגרות־משנה דרושות בתכניתו והיכן, ע"י פקודות מיוחדות. פקודות אלה דורשות פירוש, כלומר הוצאת סדרת הפקודות המתאימה מתוך הספריה והצבתם בתכנית. הפירוש דרוש גם לפקודות מסוג אחר, הנקראות מקרו־פקודות. מקרו־פקודה היא פקודה של תכנית מקורית, אשר במקומה באות פקודות אחדות בתכנית הפעולה. פקודות אלה אינן בחזקת שגרת־משנה אך מיצגות אותו רעיון — לחסוך לתכניתן עבודת תיכנות.

שפות תיכנות המוכוונות לבעיה מרוחקות מאד משפת המחשב. הצפנים של שפות אלה מיועדים להגדרת הבעיה ולדרכי הטיפול בה. תכנית הכתובה בשפה כזאת, דומה יותר לסדרת הוראות לעובד כיצד לפתור בעיה מסוימת, מאשר להוראות למחשב.

כדי להפוך תכנית מקורית, בשפת תכנות מוכוונת לבעיה, לשפת מחשב — נדרשת הרכבה ממש של תכנית פעילה. ההרכבה נעשית על ידי המחשב, באמצעות תכניות הרכבה (compilers). תכנית הרכבה מנתחת את המשפטים של התכנית המקורית ויוצרת לכל משפט את הפקודות המתאימות בשפת מחשב. יובן כי תכנית הרכבה כוללת גם תכניות פירוש ותרגום.

שפות תכנות הדורשות הרכבה
(compiler level languages)

מן הראוי לחזור ולהדגיש כי שפות התיכנות המוכוונות לבעיה הן שפות כלליות שאינן צמודות למחשב מסוים. יחד עם זה, כדי להפוך תכנית מקורית בשפה כזאת, לתכנית פעילה למחשב מסוים, נדרשת

תכנית הרכבה מיוחדת למחשב המסוים המתאימה לתכונותיו. מובן גם כי לא בכל מחשב אפשר לנצל את כל יתרונות שפת התיכנות.

מבין שפות התיכנות המוכוונות לבעיה נזכיר שתיים:

COBOL (Common business oriented language)

FORTRAN (Formula translating system)

הראשונה מיועדת לעיבוד נתונים מינהלי ומסחרי והשניה לפתרון בעיות מתמטיות.

כדי להבהיר את ההבדל בין שפות תיכנות אלה לבין שפות תיכנות המוכוונות למחשב (הדוגמה החמישית שהצגנו) ניתנים משפטים אפיניים לתכניות מקוריות הכתובות ב־COBOL וב־FORTRAN.

המשפט Add regular-pay to overtime-pay giving gross-pay (חבר תשלום רגיל עם תשלום עבור שעות נוספות כדי לקבל תשלום כולל) — אפיני לשפת ה־COBOL. שימו לב, כי פקודה זו מובנת לחלוטין לכל אדם הקורא אנגלית באשר היא כתובה כביכול בשפת יום יום. בתכנית הפעילה תופיע פקודה זו כ־200 101 100 10, כלומר פקודת חיבור בעלת שלוש כתובות. לשפת ה־ COBOL יש מילון מונחים מוגדר, המורכב ממלים רגילות של השפה האנגלית. כמו־כן יש לה כללי דקדוק הכוללים תחביר, כללי שימוש במלות השפה וכללי פיסוק.

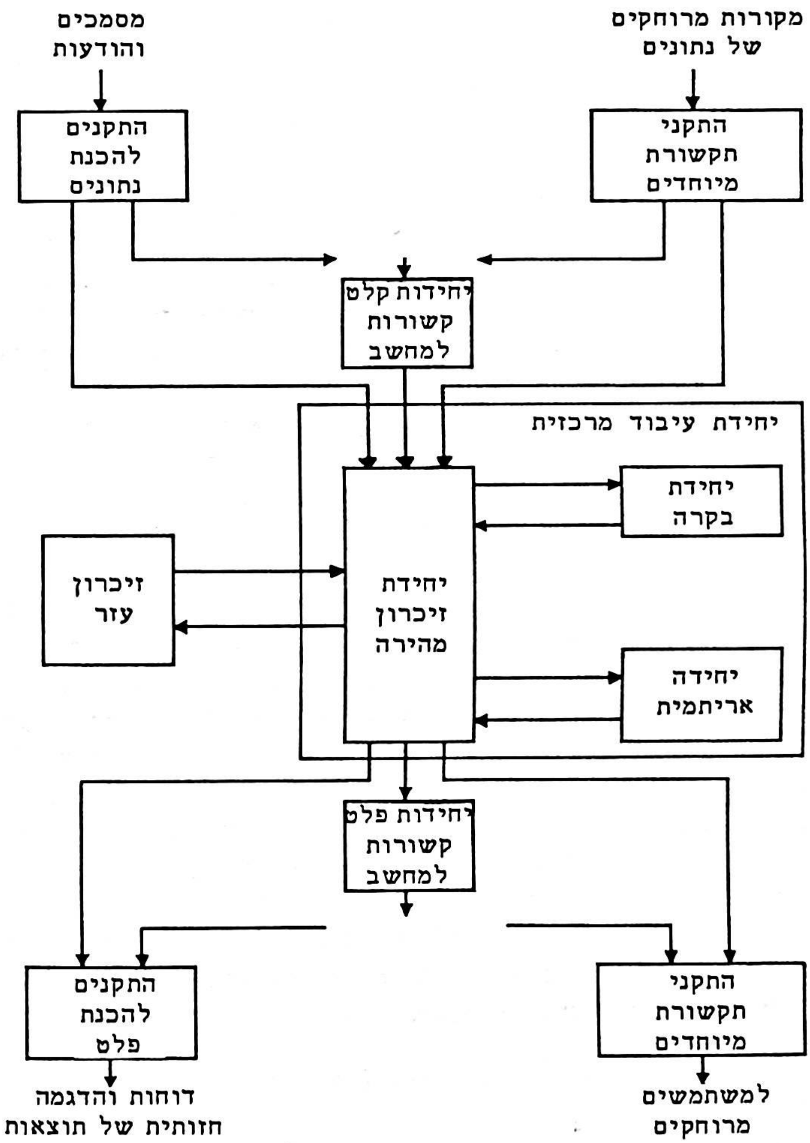
לתכנית מקורית בשפה זו מתכונת קבועה בת ארבעה פרקים. הרא־שון, מזהה את התכנית, או במלים אחרות, נותן לה שם. השני, מתאר את הציוד (המחשב ויחידות הקלט והפלט שלו) באמצעותו מיועדת התכנית לעבוד. הפרק השלישי מגדיר את כל נתוני הקלט והפלט המעורבים בתכנ׳ת. האחרון מכיל את הוראות העיבוד. בהשואה לשפות המוכוונות למחשב, פרק ההוראות בשפת ה־COBOL נוטה להיות קצר מאד.

שפת ה־FORTRAN מיועדת, כאמור, לפתרון בעיות מתמטיות. נניח, כי יש לחשב את מחיר החומר הנדרש ליצירת גליל בעל קוטר ואורך מסוימים. נוסחת החישוב היא $C \times H \times 3{,}1416 \times (D/2)^2$

C הוא המחיר ליחידה אחת של החומר, H — גובה הגליל, 3,1416 — הקבוע π ו־D הקוטר. בשפת ה־FORTRAN תירשם פקודת חישוב הנוסחה כך:

Cost=C*H*3,1416 (D/2.0) **2

הסימן ** מציין כי המספר הבא אחריו הוא מעריך של המספר הקודם לו. הסימן * הוא סימן כפל. כפי שאנו רואים, גם בשפה זו דומה מאד ההוראה לניסוח המטמטי הרגיל של בעיות.



ציור 5—4. תרשים של הרכיבים העיקריים של מערכת לעיבוד נתונים. דרכי הפעולה היחידות שלא נידונו עד עתה יובהרו בפרקים הבאים.

לסיכום, חשוב לציין כי תכניות הרכבה כוללות גם בדיקות, אם התכנית המקורית נכתבה בהתאם לכל כללי השפה וגם דיווח על שגיאות. לאחר ביצוע ההרכבה מקבל התכניתן הדפסה של תכניתו המקורית, של רשימת שגיאות ושל תכנית פעילה, אם השגיאות אינן חמורות.

לסיכום פרק זה אפשר לומר, אם כי באופן פשטני למדי, כי תכנות עבודת המחשב כולל באופן עקרוני שלושה מופעים: ארגון נתוני הקלט, הוראות למחשב כיצד לבצע חישובים בנתונים אלה והוראות כיצד להוציא החוצה את התוצאות (קלט, עיבוד, פלט).

עיון בציור 4—4 מבהיר את העובדה כי התיכנות אינו כל כך פשוט, לפחות מנקודת ראות של המחשב וציוד העזר שלו. בנוסף לזה תלויה מורכבות של התיכנות בדרגת המורכבות של הבעיה שיש לפתור. ישנן בעיות הדורשות חדשים רבים של תיכנות וישנן שתכניות עבוד שלהן תיקניות ומאוחסנות בזיכרון־עזר של המחשב. תיכנות עבודת המחשב היא אומנות בפני עצמה. קיים ביקוש רב לתכניתנים מומחים, מפני שההצלחה או הכישלון של מיתקן מחשב מותנה בטיב התיכנות.

5

מעגלים לוגיים של מחשב

בהסברים הקודמים על פעולות המחשב התיחסנו לרבים מהמעגלים התיפקודיים כאל מובנים מאליהם. יחד עם זה, כבר הצגנו את הצורך באלמנטים של החלטה מסוג מסוים. לדוגמה, לעיתים קרובות מתעורר הצורך באלמנט לוגי המסוגל להשגיח על שני תנאים דו־מצביים ולקבוע איזה מארבעת הצירופים האפשריים של התנאים קיים.

אלמנטים לוגיים יסודיים

אלמנטים לוגיים כאלה נקראים שערים (gates). אחד משני האותות הדו־מצביים, נקרא בדרך כלל התפקוד המבקר (controlling) והשני התיפקוד המבוקר (controlled). במלים אחרות, האות המבקר פותח או סוגר את השער ואלו האות המבוקר עובר בשער אם הוא פתוח, ואינו עובר אם הוא סגור.

מפאת ההנחה הבסיסית שמחשבים ספרתיים עובדים על מצבים של קיום (on) או אי־קיום (off), יכול לצאת מהשערים רק מעט, ועדיף שבכלל לא, פלט ביניים. בתנאים אידאליים לא יהיה פלט כלשהוא אם תנאי הקלט הם בצירוף המונע פלט. אבל בתיפעול מעשי יכול להיווצר מעט פלט, גם כשלא היתה כוונה לכך. פלטים מיותרים כאלה מבוטלים בעזרת מעגלים עוקבים, כפי שנסביר בהמשך.

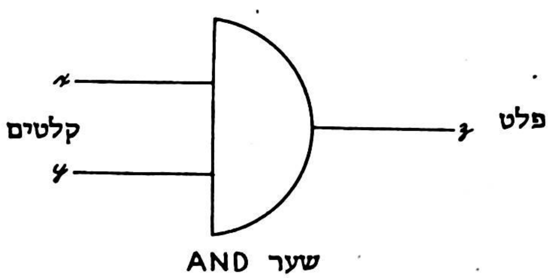
שער "AND"

נסקור שנית את הדרישות של המעגל הלוגי הרווח ביותר, שער AND, בעזרת טבלת התנאים שלהלן. שני התנאים x ו־y הם תנאי קלט ו־z הוא תנאי הפלט הנדרש.

x	y	z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

הייצוג הסמלי של אלמנט לוגי זה מתואר בציור 1—5. הטבלה אומרת ש־z יהיה 1, כאשר ורק כאשר גם x הוא 1 וגם y הוא 1.

התנאים החשמליים ל־1 או 0 שונים ממחשב למחשב ותלויים בסוג המרכיבים והמעגלים הבונים אותו. על כל פנים כדי להסביר את המעגלים הלוגיים איננו נזקקים להיכנס להבחנות בין הגדרות חשמליות שונות של התנאים. די לנו שההבדל ביניהם מוכר ונשמר.



ציור 1—5. לשער AND יש שני קלטים ופלט אחד. אם בשני הקלטים מתקבלים אותות 1, יהיה הפלט 1. בכל תנאי הקלט האחרים יהיה הפלט 0. הקלט יכול להיות מורכב מפעימות חשמליות קצרות או נמשכות או מצירופים שלהן. שער AND הוא אלמנט החלטה בודד של המחשב, בעל העצמה הרבה ביותר.

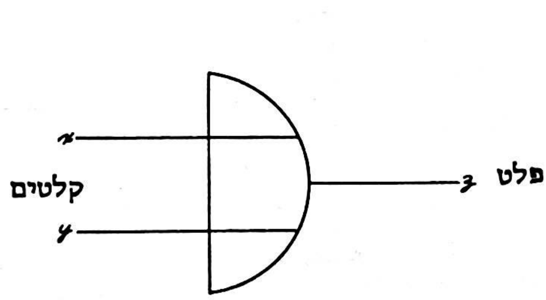
שער OR

האלמנט השני הרווח ביותר בלוגיקה של מחשבים הוא מעגל OR המתואר בצורה סמלית בציור 2—5. תפקידו מסוכם בטבלה הבאה.

x	y	z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

שים לב לשוני שבטור z. כאן, הטבלה אומרת שאם או x הוא 1 או y הוא 1 (או שניהם), z יהיה 1. כמו כן שים לב, כי העובדה ששני הקלטים הם 1, נכללת כתנאי לפלט של 1. במקרים מסוימים נדרש שער להיות שער OR טהור, פירוש הדבר, להוציא 1 בפלט, אם אחד משני הקלטים, זה או זה, הוא 1, אך לא אם שניהם בעלי אות 1. סוג זה של שער נקרא שער OR מיוחד. כאשר אין מציינים כי שער הוא מיוחד, מותר להניח כי הכוונה לשער רגיל ושני אותות 1 כקלטים יתנו אות 1 בפלט.

צירופים של אלמנטים לוגיים של OR ו־AND, יחד עם סב־סובים (flip—flops) או אמצעי אחסון אחר דו־מצבי, מרכיבים את רב רובם של מעגלי המחשב. למזלנו הרב, אפשר לבצע תיפקודים אלה באופן אלקטרוני, ללא קושי.



ציור 2—5. לשער OR כמו לשער AND יש שני קלטים ופלט אחד. אך הפלט יהיה 1 אם באחד משני הקלטים או בשניהם יש 1. סוג אחר של שער OR יוצר 1 בפלט, אם ורק אם, באחד משני הקלטים יש 1 ומוציא מכלל אפשרות מצב בו בשניהם יש 1.

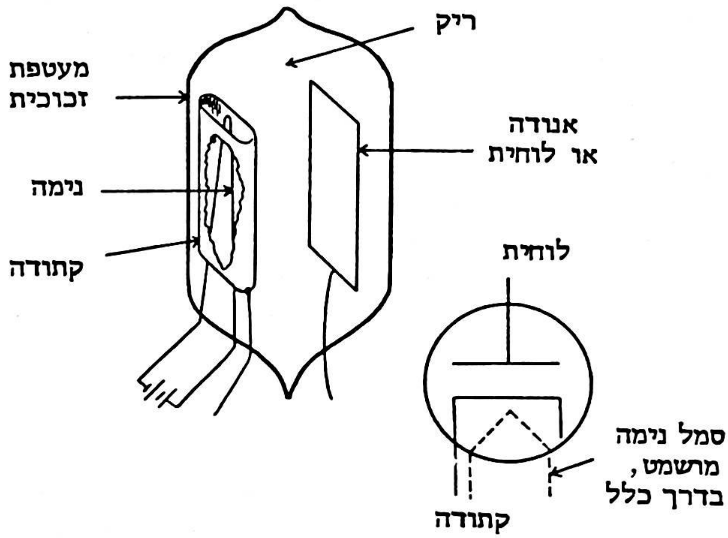
דיאודות בלוגיקה של מחשבים

העקרון היסודי עליו מושתתים רב המעגלים הלוגיים, הוא אי־הקוויות (nonlinearity) של התקנים (devices) אלקטרוניים מסוימים. ביתר פירוט, התקנים מסויימים מגלים העדפה להוליך זרם בכוון אחד ולא בכיוון ההפוך לו. ציור 3—5 מתאר תרשים סמלי של שפופרת ריק בעלת שני אלמנטים הקרויה דיאודה. האלמנטים של דיאודה נקראים קתודה ואנודה. תוך כדי ייצורה מצפים את הקתודה של הדיודה בחומר מיוחד המסוגל, כאשר מחממים אותו, לפלוט אלקטרונים. הלוחית או האנודה היא ריקוע מתכת הממוקם במרחק מה מהקתודה. הנימה היא חוט דק דרכו עובר זרם (כמו הנימה בנורת אור לוהטת). החום הנוצר ממעבר זרם בנימה מחמם את הקתודה וגורם לה לפלוט אלקטרונים, בכל פעם שהנימה מוליכה זרם.

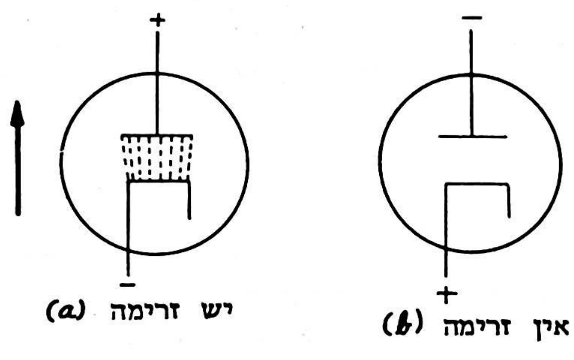
אחד החוקים היסודיים בפיזיקה אומר, כי מטענים חשמליים דומים דוחים זה את זה ומטענים חשמליים שונים, מושכים זה את זה. האלקטרון הוא המטען החשמלי השלילי היסודי. בדיאודה נמשכים האלקטרונים, הנפלטים על ידי הקתודה, אל הלוחית, כאשר היא בעלת מתח חיובי (ביחס לקתודה), ונדחים ממנה, כאשר היא בעלת מתח שלילי (שוב ביחס לקתודה).

בציור 4—5 מוצגות שתי דיאודות מחוברות בין מקורות מתח בעלי פוטנציאלים מנוגדים. מכיון שזרימת האלקטרונים מייצגת זרם חשמלי, יווצר ב(a) זרם, מפני שהקתודה (המשלחת אלקטרונים) היא שלילית ביחס ללוחית. הפוטנציאל החיובי של הלוחית, המנוגד לאלקטרונים השליליים מקפיץ אותם מהקתודה אל עבר הלוחית. ב(b) לא יווצר זרם מפני שהלוחית שלילית ביחס לקתודה. הלוחית איננה יכולה לפלוט אלקטרונים, לכן אין אלקטרונים ליצירת זרם בכיוון ההפוך.

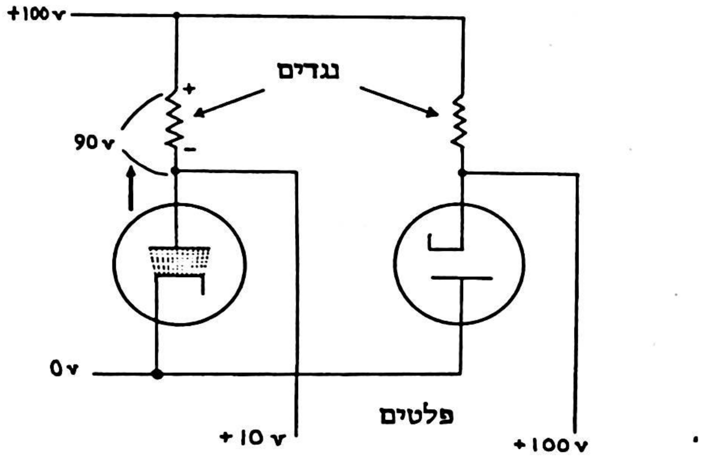
חוק יסודי אחר של הפיזיקה אומר, כי אם זרם חשמלי עובר דרך מעגל המתנגד לזרימה (כל המעגלים מגלים התנגדות מה), חלק מהפוטנציאל הנלווה לזרם יופיע על פני כל אלמנט התנגדות שבמעגל. אותו חוק גם אומר כי המתח המופיע על פני אלמנט ההתנגדות מתאים, נמצא ביחס ישר למכפלת הזרם בהתנגדות. היחידות הבסיסיות למתח, לזרם, ולהתנגדות אליהן מתיחס החוק, הן וולט, אמפר ואום, בהתאמה. האמפר היא כמות זרם המצויה רק לעיתים רחוקות במעגלים לוגיים אלקטרוניים.



ציור 3—5. מבנה טיפוסי וסמל אלקטרוני של דיאודת ריק. הנימה הדקה מחממת את הקתודה, המשלחת עקב החימום — אלקטרונים. אלקטרונים אלה נמשכים אל הלוחות, כל אימת שמתח הלוחות חיובי ביחס לקתודה. הדיאודה פועלת במעגלים אלקטרוניים בכיוון חד־סטרי, כלומר מאפשרת זרימה (של אלקטרונים) רק בתנאים שתוארו ורק בכיוון אחד.



ציור 4—5. (a) נוצר זרם חשמלי; (b) לא נוצר זרם חשמלי; סמלי דיאודות ריק מפושטים, מראים את טבעה החד סטרי של הפעולה. זרם נוצר בכל פעם שהלוחית חיובית ביחס לקתודה. לא נוצר זרם, כאשר חל מצב הפוך (הלוחית שלילית).

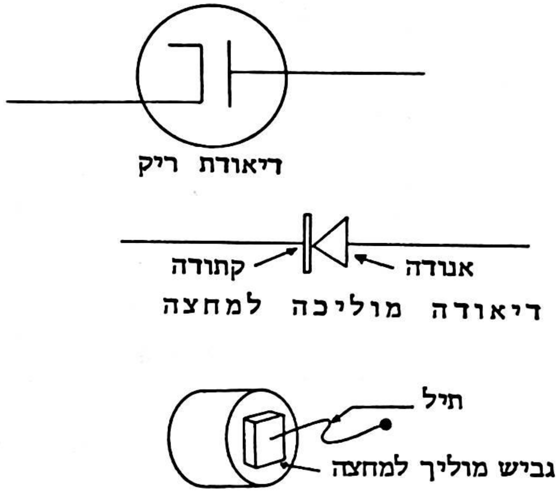


ציור 5—5. המעגל מראה שתי דיאודות אליהן מחוברים בטור, נגדים. (שים לב כי בדיאודה השמאלית הלוחית היא בעלת מתח חיובי של 100 וולט והקתודה בעלת מתח 0 וולט ואלו בדיאודה הימנית הלוחית בעלת מתח 0 וולט והקתודה בעלת מתח חיובי של 100+ וולט). הדיאודה שלוחיתה מחוברת למקור מתח חיובי, מוליכה זרם ועל פני הנגד שלה מופיע מפל מתח. הדיאודה המחוברת בכיוון הפוך (הקתודה חיובית) אינה מוליכה זרם ועל פני הנגד שלה לא מופיע מפל מתח.

על כל פנים המונח מיליאמפר (1/1000 של אמפר) מקובל כמידה מעשית יותר להגדרת גדלים של זרם אלקטרוני.

מעגלי דיודות

אם מחברים בטור נגדים לדיאודות הריק המוצגות בציור 5—4, כמתואר בציור 5—5, יתרחש מפל מתח, או שנוי במתח על פני הנגד, במעגל המוליך זרם (השמאלי). לעומת זאת בנגד של המעגל שאינו מוליך זרם לא יתרחש מפל מתח, מפני שהמתח על פני הנגד נמצא ביחס ישר הן לזרם והן להתנגדות, והזרם במקרה זה הוא אפס. שימו לב כי חלקו העליון של המעגל בכל אחד מהמקרים הוא בעל מתח של 100 וולט, וחלק התחתון בעל מתח של 0 וולט. כל המתחים בין שתי נקודות אלה מוכרחים להיות ברמות ביניים. למרות שדיאודה תיאורטית מושלמת אינה צריכה לגלות התנגדות בכיוון ההולכה, מגלות כל הדיאודות התנגדות מה, להולכת הזרם. נניח כי הדיאודה המוליכה (השמאלית) מגלה התנגדות שגודלה 1/10 מהתנגדות הנגד. במקרה זה, מכיון שהזרם זהה בשני



ציור 6—5. הרישומים מראים את הסמל והמבנה של הדיאודה המוליכה למחצה. דיאודות אלו מאד קטנות, אינן דורשות כוח לליבון הנימה וייצורן הוא יחסית בלתי יקר. על כל פנים, כמות מה של זרם (אם כי קטנה לאין שעור בדיאודות בעלות איכות גבוהה) יכולה לזרום בכיוון ההפוך.

האלמנטים של המעגל (הנגד והדיאודה), ומפל המתח ימצא ביחס ישר להתנגדות ולזרם, תופיע 1/10 מהמתח הכללי על פני הדיאודה, ויתר 9/10 (או 90 וולט) יופיעו על פני הנגד. לכן, מתח הפלט של המעגל המוליך הוא 10 וולט. לעומת זאת, מתח הפלט של המעגל שאינו מוליך הוא 100 הוולט בשלמותם, ומופיע כולו על פני הדיאודה שאינה מוליכה, מכיון שהתנגדותה אין סופית.

שים לב כי דיאודת ריק פועלת בסוג זה של מעגל בצורה חד־סטרית. פירוש הדבר שאלקטרון יכול לנוע רק מהקתודה ללוחית. מכיון שהחוקים היסודיים של הפיזיקה מכתיבים כי אלקטרונים ינועו אל עבר פוטנציאל חיובי, פירוש הדבר גם, כי צירוף זה מכונן התקן לוגי, המתרגם קטביות להיווצרות זרם או לאי היווצרות זרם. תופעה זו מאפשרת למחשב לקבוע החלטות.

דיאודות מוליכות למחצה

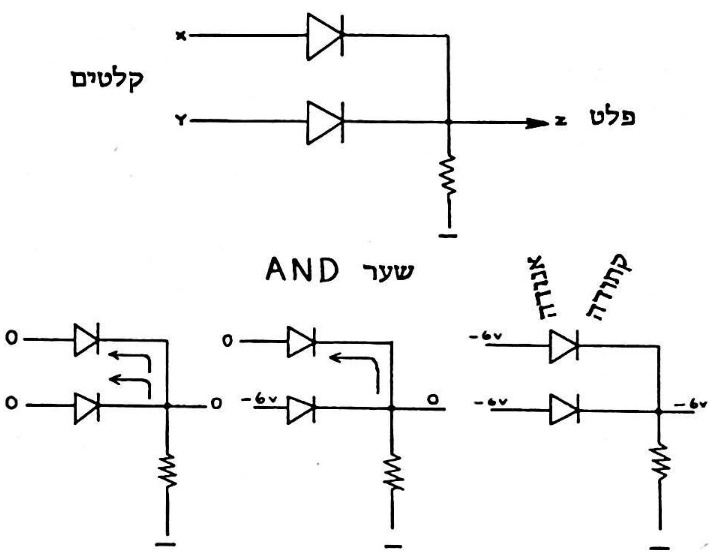
למרות שדיאודות ריק תפסו מקום יחודי במעגלים של מחשב אלקטרוני, הן אבדו את מעמדן לטובת התקנים המושתתים על מצב מוצק כמו דיאודות מוליכות למחצה וטרנסיסטורים. התקנים אלה מהימנים יותר וצורכים הרבה פחות מרחב פיזי וכוח חשמלי. כמו כן יש להם יתרונות רבים אחרים.

ציור 6—5 מראה את שויון הערך הלוגי של דיאודות מוליכות למחצה, ביחס לדיאודות שפופרת־ריק. מטבע הדברים, התקנים מגופים מוצקים מופעלים במתחים נמוכים יותר — 3 עד 20 וולט בדרך כלל. כמו דיאודת ריק, מוליך המוליך למחצה זרם בכוון אחד מהתיל לגביש. בדיאודה מוליכה למחצה יכולה להיווצר זרימה בכיוון הבלתי רצוי, אך היא תהיה מועטה בהשואה לזרימה שתיווצר בכיוון הרצוי. כיוונים אלה נקראים בדרך כלל קדמי ואחורי, וזרם קדמי וזרם אחורי (שהוא נמוך מאד, מפאת ההתנגדות הגבוהה שמגלה הדיאודה בכיוון האחורי).

מעגלים לוגיים

נראה עתה כיצד יכולים אנו להשתמש בדיאודות, כדי לבצע תיפקודים לוגיים ספרתיים. קודם כל נבחן את מעגל ה־AND בעל שני קלטים. ציור 7—5 מראה באופן סכימטי, כיצד ממלאים שתי דיאודות ונגד את תפקיד ה־AND. צמתי החיבורים בין הרכיבים בציור 7—5, מסומנים בהתאם לכללים של הטבלאות הלוגיות שהוצגו קודם לכן.

בנקודה זו יש להבין כי לרוב מתכנני המחשבים יש דעות שונות לגבי השאלה, איזו תופעה פיזיקלית תייצג 0 לוגי ואיזו תופעה פיזיקלית תייצג 1 לוגי. לעתים קרובות ביותר, במחשבים המושתתים על מצב מוצק, 0 וולט מיצג מצב אחד (בדרך כלל 0 לוגי) ומתח שלילי של כמה וולטים מיצג את המצב ההפוך (בדרך כלל 1 לוגי). לצורך הסברת המעגלים הלוגיים בספר זה, נסתייע בשתי רמות מתח וניחס להם משמעויות לוגיות. אם לא יפורט אחרת, תיצג רמת מתח של 6— וולט, 1 לוגי, ואילו רמת מתח של 0 וולט, תיצג 0 לוגי. נבחן עתה את ארבע האפשרויות של תיפקוד ה־AND ונראה אם המעגל המוצג בציור 7—5, ממלא את הדרישות של תיפקוד זה. במקרה הראשון רמת המתח של



ציור 7—5. שערAND דיאודי מראה את אופן השימוש בשתי דיאודות מוליכות למחצה ובנגד, המחובר למקור מתח שלילי גבוה (18— וולט). הפלט יהיה 6— וולט רק אם שני הקלטים הם ברמת מתח של 6— וולט. הפלט יהיה 0 כאשר אחד הקלטים (או שניהם) הוא ברמת מתח של 0 וולט.

שני הקלטים היא 0 וולט. שים לב כי קצהו החופשי של הנגד מחובר למקור בעל פוטנציאל שלילי שהוא פי כמה מונים יותר שלילי מכל קלט אפשרי (שרמת מתחו המירבית היא 6— וולט). מכיון שהמתח של שני הקלטים הוא 0 וולט, שניהם יותר חיוביים מהמתח השלילי, וכל אחת משתי הדיאודות או שתיהן יוליכו זרם (האנודות שלהן חיוביות ביחס לקתודות). מכיון שמפל המתח על פני הדיאודות המוליכות הוא קטן, יהיה הפלט באופן מהותי, שוה לקלטים, כלומר 0 וולט, כנדרש לייצוג 0 לוגי.

אם אחד משני הקלטים הוא 1 (או 6— וולט והשני הוא 0 (0 וולט) הדיאודה בעלת קלט 0 וולט תקוטב לכיוונה הקדמי (מהקתודה לאנודה), והזרימה שתיווצר תוריד את מתח הפלט ל־0 וולט. הדיאודה בעלת קלט 1 לא תוליך זרם במקרה זה, מכיון שעתה האנודה שלה שלילית

‎(6— וולט) ביחס לקתודה שלה.

כאשר שני הקלטים הם 1 (שניהם ברמת מתח 6— וולט), כל אחת מהדיאודות או שתיהן יוליכו זרם והתוצאה תהיה, שהפלט יהיה שוה באופן מהותי לקלט כלומר, 6— וולט.

מעגלים של שער OR

ציור 8—5 מראה שער OR בעל שני קלטים הבנוי משתי דיאודות ונגד. ההבדלים היחידים בין מעגל זה ומעגל ה־AND הם כיוון הדיאודות והקטביות של הממתח המסייע (המתח המקדם את הזרם). לפי טבלת שער OR, שני קלטים של 0 צריכים לגרום לפלט של 0. אם נמסור ל־x ול־y מתח 0 וולט תהיה זרימה באחת הדיאודות או בשתיהן, מפני שהקתודות שלהן שליליות ביחס לאנודות שלהן. מפל המתח יהיה נמוך והפלט יהיה שווה לקלט כלומר ברמה של 0 וולט כנדרש.

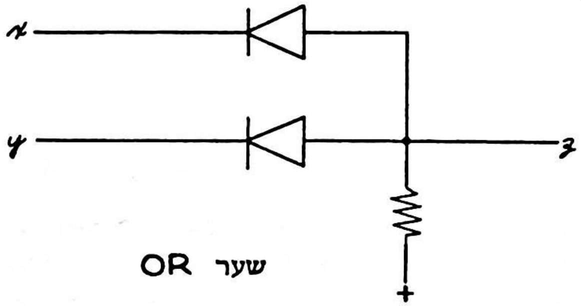
אם המתח ב־x או ב־y הוא 6— וולט, המיצג 1 לוגי, הדיאודה הנוגעת בדבר תוליך יותר זרם (בגלל גידול בהבדל הפוטנציאלים, מ־6— וולט לקטביות חיובית), וערכו של מפל המתח על פני הדיאודה יהיה מבוטל. לכן, הפלט יהיה שוה ל־6— וולט כנדרש לציין פלט של 1 לוגי. הדיאודה השניה תהיה מנותקת מפני שהקתודה שלה חיובית עתה, ביחס לאנודה.

אם שני הקלטים הם 1 (שניהם 6— וולט) אחד מהם או שניהם יוליכו מספיק זרם כדי להוריד את מתח הפלט ל־6— וולט וליצור ע״י כך, פלט של 1 לוגי כנדרש.

מהפכים

אלמנט לוגי אחר חשוב, הוא זה אשר יוצר פלט לוגי הפוך לקלט שלו. מסירת 1 לקלט המהפך (inverter) גורמת לקבלת 0 בפלט ולהיפך.

במחשבים המודרניים תפסו הטרנסיסטורים את מקומן של הדי־אודות המוליכות למחצה ושל השפופרות, במילוי התיפקודים הלוגיים. לטרנסיסטור כמה תכונות יחידות במינן הנותנות לו עצמה שלא ניתן להשיגה מדיאודות ושפופרות.



ציור 8—5. שער OR דיאודי דומה לשער AND שבציור 7—5, להוציא את ההבדלים הבאים : הדיאודות הפוכות והמתח המסופק למעגל, הפוך. במעגלים המוצגים בציורים 7—5 ו־8—5, 6— חלט מייצג 1 לוגי ו־0 חלט מייצג 0 לוגי.

מבנה הטרנסיסטור

הטרנסיסטור מורכב משלוש שכבות של גבישים מוליכים למחצה. הגבישים המהווים חומרי יסוד בייצור הטרנסיסטור הם גבישים של גרמניום ושל סיליקון. גרמניום וסיליקון טהורים הם למעשה מבדדים, אולם אם יוסיפו להם חומר זר מתאים, בכמות מתאימה, הם ייהפכו למוליכים למחצה בעלי תכונות מיוחדות.

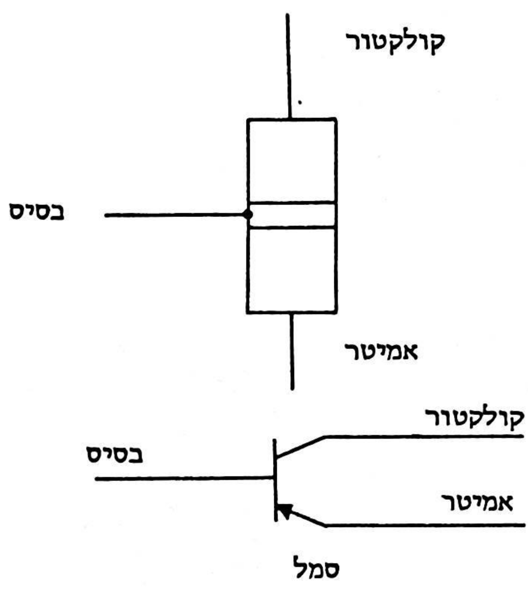
כדי להפוך את הגרמניום או הסיליקון למוליכים למחצה, צריך החומר הזר להיות בעל ערכיות שונה מזו של הגרמניום או הסיליקון. היחס בין החומר הזר והחומר הטהור בגביש מוליך למחצה, הוא 1 עד 10 למליון. הגרמניום הוא בעל 4 אלקטרוני ערכות. אם מוסיפים לו יסוד זר בעל 5 אלקטרוני ערכות, מקבלים גרמניום מוליך למחצה מסוג n (שלילי negative). לעומת זאת, אם מוסיפים לו יסוד זר בעל 3 אלקטרוני ערכות, מקבלים גרמניום מוליך למחצה מסוג p (חיובי positive).

בגביש גרמניום מסוג n ישנם אלקטרונים עודפים או חפשיים (אלקטרון הערכות החמישי של כל אטום זר) המסוגלים לנוע בחפשיות בתוך המבנה הגבישי. לכן, אם מחברים לגביש מקור זרם חיצוני, הוא

מסוגל להוליך זרם חשמלי. באופן זה מתקימת זרימה מתמדת של אלקטרונים מהקוטב השלילי של הסוללה דרך הגביש, אל הקוטב החיובי שלה.

בגביש גרמניום מסוג p חסרים אלקטרונים (היסוד הזר המתלכד עם הגרמניום בעל 3 אלקטרונים ערכיים, בעוד שהגרמניום הוא בעל 4 אלקטרונים). לכן לא כל הקשרים בין האטומים שבגביש מלאים תופעה זו יוצרת תנועה אקראית של אלקטרונים בתוך הגביש והופכת אותו למוליך למחצה. גביש מסוג זה נקרא חיובי מפני שהקשרים הבלתי מלאים בין האטומים שבגביש נחשבים לנושאי מטען חיובי.

כאמור, מורכב הטרנסיסטור משלוש שכבות של גבישים מוליכים למחצה. השכבות מסודרות מבחינת סוג המוליך לסירוגין, כלומר pnp או npn. לכל שכבה תפקיד מסוים. השכבה המרכזית — ה ב ס י ס, דקה מאוד ביחס לשכבות החיצוניות — האמיטר (emitter) והקולקטור



ציור 9—5. מבנה טפוסי וסמל אלקטרוני של טרנסיסטור. עביו של איזור הבסיס אינו עולה על כמה אלפיות של אינצ'. כדי לקבל טפוסים אחרים של טרנסיסטורים משנים את כיוון האמיטר, המתבטא בתרשים, בראש החץ. לטרסניסטורים אחדים יש ארבעה תילים לצורך מעגלים למטרות מיוחדות.

(collector). המחיצות בין השכבות, או במלים אחרות, הצמתים המחברים את השכבות, פועלים כמו דיאודות. ציור 9—5 מציג את מבנה הטרנ־סיסטור ואת הסמל בו נהוג לתארו.

מעגלי טרנסיסטור

כאמור, המחיצות שבין השכבות של הטרנסיסטור פועלות כמו דיאודות, כלומר הן מוליכות זרם בכיוון אחד אך מתנגדות לזרימתו בכיוון ההפוך. לזרימה בין הבסיס והאמיטר, יש השפעה על הזרימה של זרם הקולקטור. היחס בין שני הזרמים הוא כזה ששינויים קטנים יחסית בזרם הבסיס, גורמים לשינויים ניכרים בזרם האוסף. אם השינוי הוא בכיוון של הגדלה נוצרת פעולת הגברה.

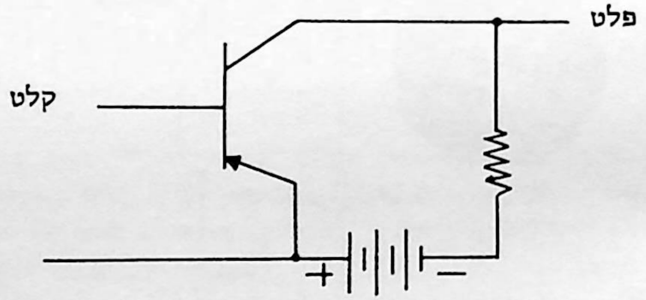


ציור 9א—5. במחשבים החדישים נמצאים בשימוש טרנסיסטורים זעירים בגודל גרגרי מלח. בתצלום: אצבעון תפירה רגיל מכיל כ־50,000 טרנסיסטורים כאלה. ה„שבבים" מיוצרים מגבישי סיליקון, הנחתכים באמצעות טכניקות חדישות ביותר.

ציור 10—5 מראה מעגל טרנסיסטור פשוט בו הבסיס משמש כקלט והקולקטור — כפלט. הנגד הרגיל מחובר בטור לקולקטור ולמקור מתח שלילי (בטרנסיסטור זה). אספקת מתח שלילי לבסיס, מעודדת זרימה מהבסיס לאמיטר, מכיון שזהו הכיוון הקדמי של הדיאודה המועצבת על ידי הצומת: בסיס־אמיטר. הצומת בסיס־קולקטור מקוטב בכיוון הפוך, אולם כאשר נוצרת זרימת בסיס־אמיטר, פוחתת ההתנגדות הגבוהה הרגילה של הצומת בסיס־קולקטור ונוצר זרם במעגל הקולקטור. בטרנ־סיסטור אידיאלי מופחתת ההתנגדות של הקולקטור לרמה כזאת, שהזרם במעגל הקולקטור מוגבל רק על ידי הנגד שלו. כל המתח המסופק למעגל קולקטור מופיע, איפוא, על פני הנגד ומתח הפלט יורד ל־0 וולט.

כאשר מתח הבסיס הוא חיובי (או 0 וולט) אין סיוע לזרימת זרם הבסיס־אמיטר ולכן נפסק זרם הקולקטור. (אלו הזרימה היתה פוסקת לחלוטין היה מתח הפלט משתווה למתח המסופק לקולקטור).

בשימושים ספרתיים פועל הטרנסיסטור כמפסק זרם (current switch). התנגדות הקולקטור מאד נמוכה, כאשר מתח הבסיס שלילי; ומאד גבוהה, כאשר הוא 0 או חיובי. כדי לבצע פעולות לוגיות בעזרת טרנסיסטורים, משתמשים בהם כמפסקי זרם, כמתואר בציור 11—5.

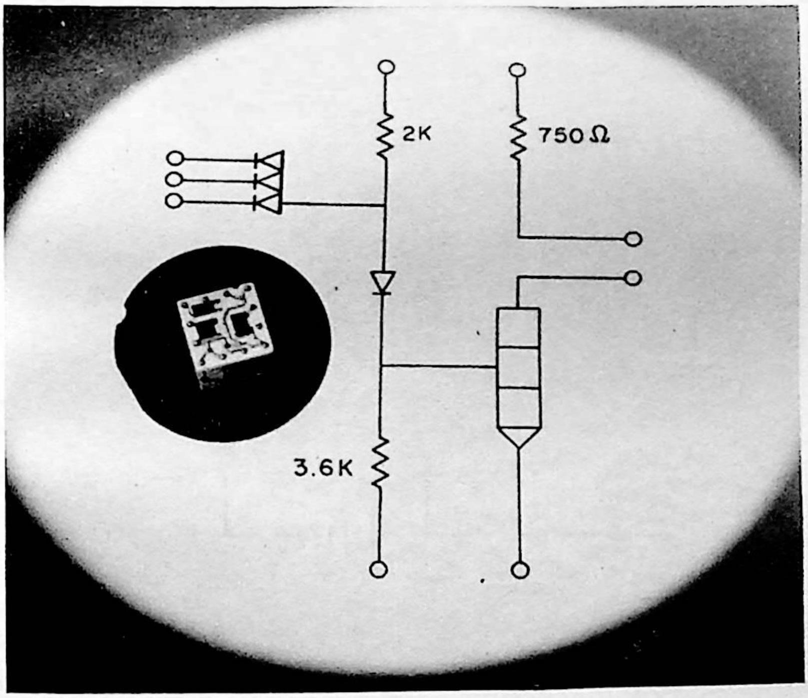


ציור 10—5. תרשים כללי מפושט של טרנסיסטור מגביר. מקור המתח (המתואר כסוללה) מכוון כך שמעגל האמיטר־קולקטור של הטרנסיסטור מתנגד לזרימה כל עוד לא נוצר זרם בסיס. זרם הבסיס נוצר על ידי מעגל הקלט. הזרם במעגל הקולקטור, הנוצר כתוצאה מזרם הבסיס־אמיטר, הוא נוסח מוגבר של זרם הקלט (הבסיס).

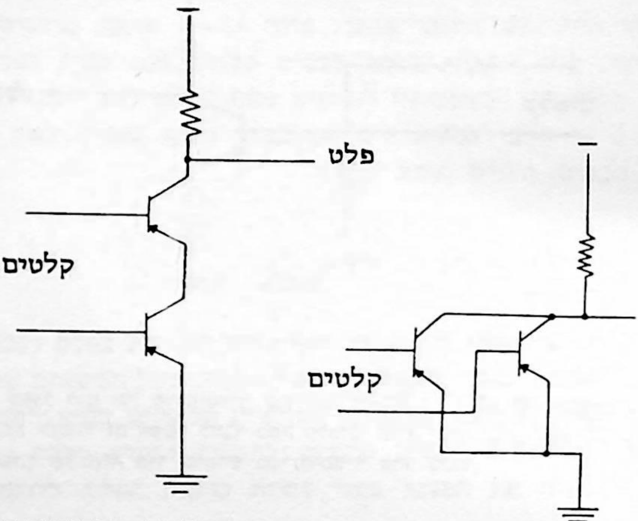
במעגל AND מחברים שני טרנסיסטורים בטור. אם שני הקלטים הם 1 (מתח של 6— וולט בהתאם לכלל שאימצנו קודם), יפעלו שני הטרנ־סיסטורים כמתגים סגורים, כלומר יגרמו לזרימה במעגל הקולקטור, ולכן לרמת מתח 0 וולט בפלט. אם המתח של אחד מהקלטים או של שניהם עולה ל־0 או לרמת מתח חיובית, יפעלו הטרנסיסטורים כמתג פתוח (במעגל הקולקטור אין זרימה) והפלט ירד לרמת מתח שלילית, הנקבעת על ידי קבועי המעגל.

מעגל לוגי NOR

מעגל טרנסיסטור שימושי מסוג אחר הוא שער NOR. במעגל זה מבוצעת הפעולות הלוגיות בקלט של הטרנסיסטור כמתואר בציור 12—5. עקב כושרו של הטרנסיסטור להגביר באופן ניכר את זרם הקולקטור



ציור א10—5. השימוש בטרנסיסטורים זעירים כפי שהוצגו בציור א9—5 מאפשר בנית מעגלים מיקרו אלקטרוניים, המסייצים להגביר מהירות הפעולה של המחשב.



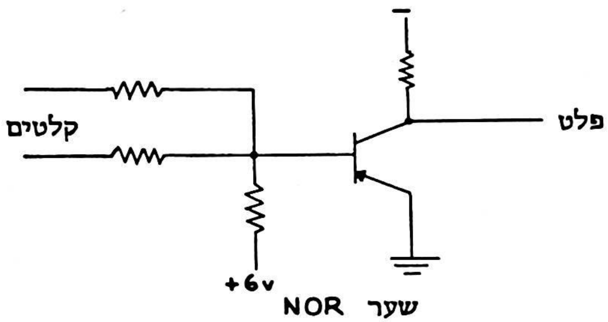
שער AND מטרנסיסטור

שער OR מטרנסיסטור

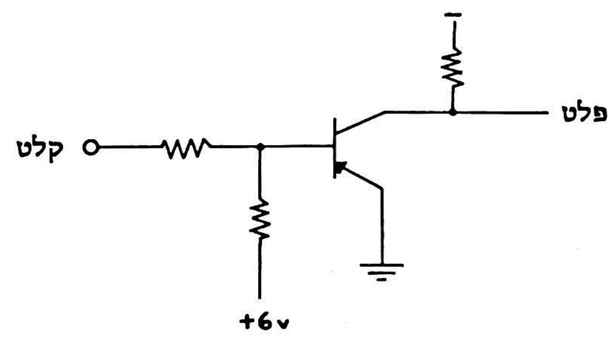
ציור 11—5. טרנסיסטורים מתאימים באופן אידאלי למעגלים הלוגיים של מחשב. שער AND דורש ממתח מס״יע (שלילי) בשני הקלטים, כדי לאפשר זרימה של זרם הקולקטור. בשער OR ממתח מס״יע באחד משני מעגלי הבסיס יסגור את מעגל הקולקטור.

על ידי הגדלה קטנה של זרם הבסיס, אפשר לחבר לבסיס במקביל, קלטים אחדים. אם אחד מהקלטים הוא 6— וולט, זורם זרם הבסיס ומתח הפלט יורד ל־0 וולט. אם כל הקלטים הם 0 וולט, פוחת זרם הבסיס, זרם הקולקטור יורד לאפס ומתח הפלט נעשה שלילי. אפשר להשתמש בסוג זה של מעגל כמעגל OR אם 0 וולט מיצג 0 לוגי ומתח שלילי מיצג 1 לוגי.

יש לציין בהמשך לדיון הקודם, כי הפלט לעתים הפוך ביחס לקלט, כלומר בפלט מופיעה רמת מתח המיצגת 1 לוגי, כאשר למעשה נדרשת רמת מתח המיצגת 0 לוגי, ולהיפך. לעתים קרובות תופעה זו שימושית. כאשר יש צורך להחזיר לקדמותם את התנאים המקוריים (ראה בפרק 7



ציור 12—5. מעגל לוגי של טרנסיסטור שאין לו מקביל במעגלים של שפופרות ריק, הוא מעגל NOR. למעגל זה אפשר לחבר כמה קלטים, והוא יכול לבצע תפקודים לוגיים הן של OR והן של AND תוך שימוש בטרנסיסטור אחד בלבד.

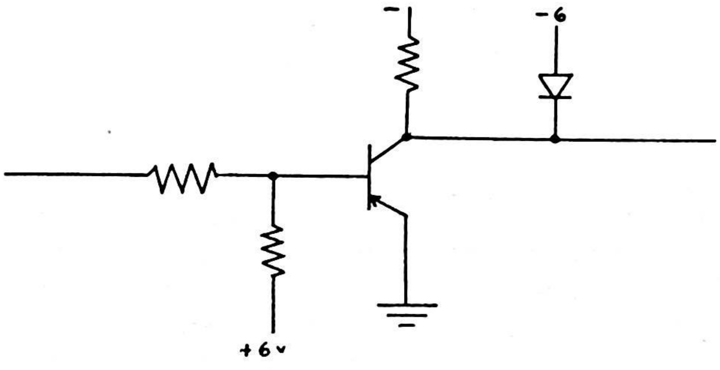


ציור 13—5. במעגלים לוגיים דרוש לעתים קרובות להפוך את המצב הלוגי (לדוגמה במחבר למחצה שנדון בפרק 3). המעגל הפשוט המיוצג בציור ממלא תפקיד זה. על ידי בחירה מתאימה של מרכיבים, אפשר ליצור פלט הפוך (מבחינה לוגית) לקלט.

בסעיף הדן בחישת מצב הטבעת) או כאשר יש להפוך רמות לוגיות, למטרות אחרות כל שהן (כמו במעגל של מחבר למחצה המתואר בפרק 3), אפשר להשתמש במגבר־מהפך. ציור 13—5 מראה טרנסיסטור מהפך טיפוסי. קלט שלילי הנמסר לבסיס מעודד זרם בסיס וגורם לזרימת זרם הקולקטור ובעקבותיו להורדת מתח הפלט ל־0 וולט. כאשר הקלט הוא 0 או חיובי קמעה, זרם הקולקטור נפסק (מכיון שאין זרימה של זרם הבסיס) והפלט נעשה שלילי.

חיזוק

הזכרנו במשך הדיון, כי רמת מתח שלילית בפלט נקבעת על ידי קבועי המעגל. קבועי המעגל נתונים לשינויים בשל רגישותם של הרכיבים. מכיון שאנו מעונינים במעגלים ספרתיים הפועלים בשתי רמות מוגדרות היטב, משתמשים לעתים קרובות בתהליך הנקרא חיזוק (clamping), כדי להבטיח את המעגל מפני סטיות ברמות הפלט. לדוגמה, התבונן



ציור 14—5. תהליך החזוק נהוג ברב המעגלים הלוגיים המעשיים, ותפקידו להבטיח אחידות של רמות מתח לוגיות. כאשר הטרנסיסטור המתואר בציור מוליך, התנגדות הקולקטור שלו היא כה נמוכה עד כי מתח הפלט הוא באופן מהותי 0 וולט. כאשר הטרנסיסטור אינו מוליך, האנודה של הדיאודה המחזקת חיובית ביחס לקתודה, ולכן הדיאודה מגלה התנגדות נמוכה מאד. התוצאה היא פלט שמתחו שוה למתח המסופק לדיאודה — 6— וולט, הנשמר ברמת הדיוק הנדרשת.

בציור 5—14 הדומה ברכיביו לציור 5—13, אלא שהוספנו לו מקור מתח ודיאודה. בהנחה שהרכיבים של המעגל אידיאלים, התנגדות הקול־קטור נעשית אין סופית כאשר הבסיס הוא 0 או חיובי. במקרה זה, אפשר להוציא את הטרנסיסטור מהמעגל, כך שרק שני מקורות המתח והדיאודה ישארו בו. מכיון שהאנודה של הדיאודה חיובית ביחס לקתודה שלה תוליך הדיאודה זרם. שוב, בהנחה שהדיאודה מושלמת, התנגדותה נעשית אפס ואין מפל מתח על פניה. באופן זה מתח הפלט שוה למתח שנמסר לאנודה, או בדיוק 6— וולט. אם קלט הטרנסיסטור שלילי, אפשר להניח כי התנגדות מעגל הקולקטור מבוטלת. מתח הקולקטור שוה, איפוא, למתח האמיטר והוא 0 וולט. בדרך זו, נשמרות שתי רמות המתח הרצויות.

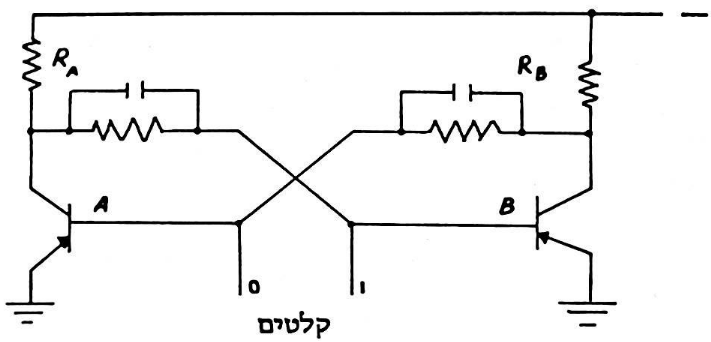
טרנסיסטורים NPN לעומת PNP

מבחינים, באופן מעשי כאמור, בין שני סוגים של טרנסיסטורים. סוגים אלו קרויים npn ו־pnp· בטרנסיסטור npn יש לקטב את הקולקטור באופן חיובי, ומתח חיובי בבסיס גורם לזרימת זרם הקולקטור. בטרנ־סיסטור pnp, בו השתמשנו בדוגמאות הקודמות, יש לספק מתח שלילי לקולקטור, ומתח שלילי של הבסיס גורם לזרימת זרם הקולקטור. את הטרנסיסטור pnp אפשר אולי להשוות לשפופרת ריק המעבירה אלקטרונים מהאנודה לקתודה. במובנים מסוימים משלימים שני סוגים אלה זה את זה, ותכונה זו מנוצלת לעיתים קרובות.

מעגלי סב-סוב

ראינו עד עתה כיצד ממלאים שפופרות, דיאודות וטרנסיסטורים, תיפקודי העברה והגפה (gating). אפשר להשתמש בהם, גם לצורך התקני זיכרון הנקראים סב־סובים (flip—flop). ציור 5—15 מראה התקן סב־סוב פשוט הבנוי מטרנסיסטורים. המעגל נבנה לפי מעגל שפופרות, על ידי שניים מחלוצי האלקטרוניקה, אקלס וג׳ורדון (Eccles ; Jordan), והוא נושא את שמותיהם.

שני הטרנסיסטורים מחוברים באופן כזה, שאם אחד מהם מוליך השני מנותק ולהיפך. לדוגמה אם טרנסיסטור A מוליך נוצר זרם קולקטור כבד ומתח הקולקטור מתקרב ל־0 וולט. מכיון שמתח זה נמסר ישירות לבסיס של טרנסיסטור B, זרם הבסיס של טרנסיסטור זה נמוך מאד, וכתוצאה ממנו נפסק זרם הקולקטור של טרנסיסטור B. אנו יכולים ליחס



ציור 15—5. מעגל סב־סוב בסיסי הבנו מטרנסיסטורים. ההולכה בטרנסיסטור A גורמת למפל מתח על פני RA, המוגש לבסיס של טרנסיסטור B. העדר זרם ב־B גורם לכך שמתח הקולקטור של טרנסיסטור B יהיה קרוב למתח המסופק, וע״י כך מוחזק הבסיס של טרנסיסטור A במצב של הולכה. אספקת פעימה שלילית לטרנסיסטור המנותק גורמת להפיכת המצבים (כמו במקרה של דחיפת הקצה הגבוה של הנדנדה, המתואר בפרק 2).

משמעות לוגית של 1 או 0 למצב זה, אם נגדיר את המשמעות הנוגדת, על ידי המצב ההפוך. כדי להפוך את המצב של הסב־סוב אנו פשוט מאריקים לרגע את הבסיס של הטרנסיסטור המוליך. פעולה זו מפסיקה את זרם הקולקטור וגורמת לעליה תלולה של מתח הקולקטור, בכיוון שלילי. מתח שלילי עולה זה נמסר לבסיס של הטרנסיסטור המנותק וגורם לבסיסו להוליך. כתוצאה מכך נוצר זרם קולקטור, ומתח הקולקטור יורד ל־0 וולט. הבסיס של הטרנסיסטור שהוליך קודם, מוחזק לכן, בפוטנציאל האדמה, גם לאחר שההארקה נפסקה. מעגל הסב־סוב נבנה באופן סימטרי ככל האפשר. מכיון שכך, המצב הנוצר בו, כאשר נמסר לו מתח בפעם הראשונה, נקבע באופן אקראי. לפני שמטילים על מעגלי סב־סוב לאחסן מצבים לוגיים, מסבים אותם לנקודת התחלה שרירותית. לעתים מספקים קלט מסב מיוחד לתכלית זו.

בשימוש מעשי במחשב, מופעלים מעגלי סב־סוב ע״י פעימות מתח, מכיון שאפשר לחולל אותן, באופן אלקטרוני, במהירות עצומה. בין אם יופחת המתח לרגע ל־0 וולט או לפוטנציאל האדמה, ההשפעה על הסב־סוב תהיה זהה. הפלטים של מעגלי סב־סוב מתקבלים, באופן רגיל, ממעגלי הקולקטור של הטרנסיסטורים. אפשר לקבל מתח שלילי או מתח חיובי על ידי חיבור הסב־סוב לקולקטור המתאים. (מתחו של האחד עולה כאשר מתחו של האחר יורד, ולהיפך).

מעגלים מעשיים

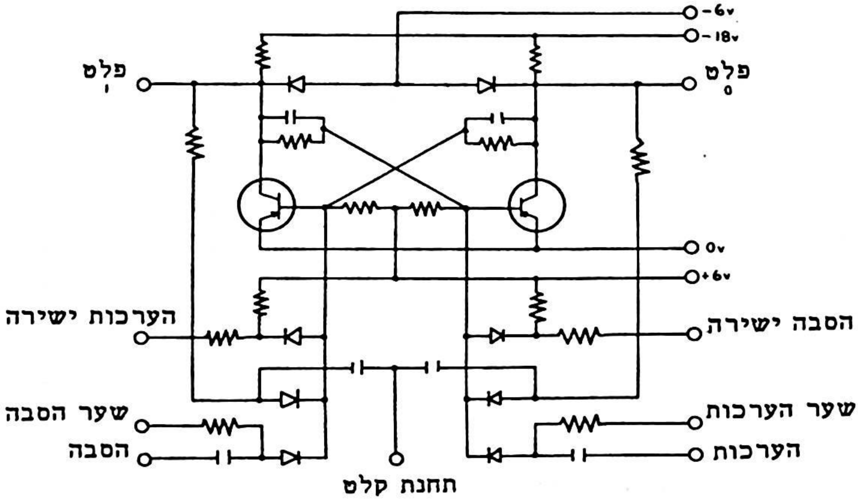
קיימים אלפי סוגים שונים של מעגלים לוגיים. כולם, מסובכים יותר, במידה זו או אחרת, ממעגל הסב־סוב הפשוט שתואר לעיל. במציאות בנוי מעגל זה ממרכיבים נוספים, כדי לשפר את המהירות והמהימנות של ההסבה ממצב למצב. מעגל טיפוסי למטרות כלליות מתואר בציור 16—5. מעגלים כאלה מיוצרים ע״י מספר יצרנים, לשימוש בבנית מערכות לוגיות של מחשבים.

יחידה טיפוסית המכילה מעגל סב־סוב מלא, מתוארת בציור 17—5. מעגלים לוגיים אחרים המיוצרים בצורה דומה, מאפשרים בנית מערכות לוגיות. למעגלים כאלה יש תילים פשוטים לצורך חיבור היחידות הלוגיות בצירופים הרצויים.

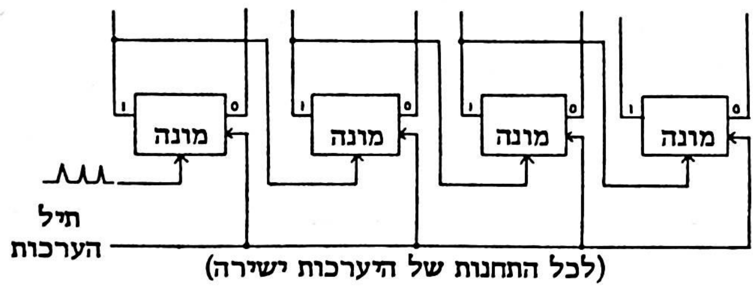
ספירה בינרית

כדי לתאר מערכת לוגית טיפוסית המורכבת מסב־סובים הבנויים מטרנסיסטורים, נניח כי נחוץ לנו מונה בינרי המסוגל לספור עד 15 (או 16 אם ספירת 0 נכללת כמספר) לתכלית זו דרושים לנו ארבעה סב־סובים. לפני התחלת הספירה, יש להסב את הסב־סובים למצב 0. דבר זה נעשה ע״י אספקת זרם לתיל ההיערכות (reset). לאחר שכל השלבים אופסו, נמסרת הפעימה הראשונה לקלט של השלב הראשון אשר מסב את מצבו מ־0 ל־1. קלט זה מסודר כך שקבלת מתח שלילי בו גורמת למעגל לסוב. הקולקטור השמאלי של כל שלב מחובר לקלט של המונה של השלב הבא בתור. כאשר נמסרת הפעימה הראשונה נעשה הקולקטור השמאלי חיובי, אבל השלב הבא יסוב ל־1 רק אם תימסר לקלט שלו פעימה שלילית. לכן, לא יתרחש דבר בשלב השני ובשלבים הבאים אחריו.

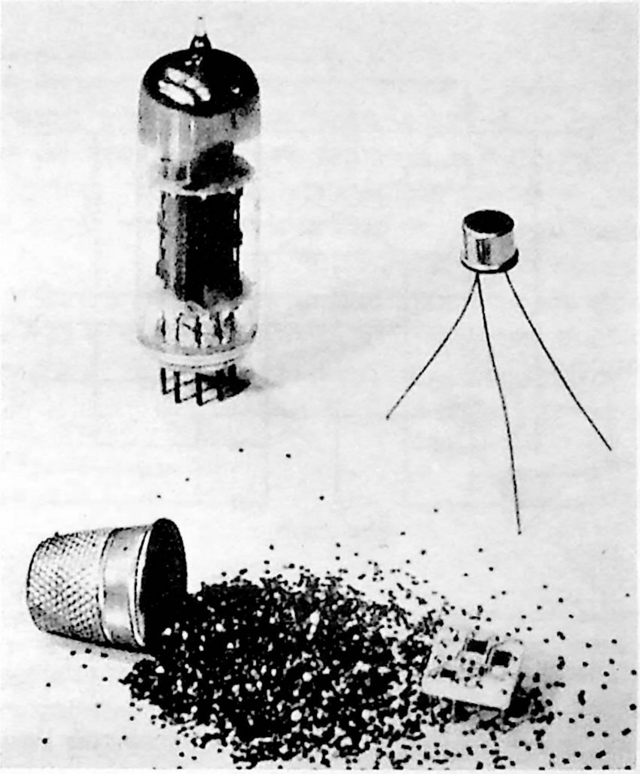
כאשר מגיעה הפעימה השניה, סב השלב הראשון שוב, והפעם למצב 0. עקב כך נעשה הקולקטור השמאלי שלילי והשינוי השלילי במתח גורם לשלב השני לסוב למצב של 1. בעקבות הפעימה השלישית נערך השלב הראשון שוב למצב 1, אבל הקולקטור השמאלי של השלב הראשון נעשה שוב חיובי והשלב הבא אינו מושפע. באופן זה מאחסן המונה ספירה של 3, כאשר שני השלבים הפחות חשובים הם במצב



ציור 16—5. תרשים סכמטי של סב־סוב מסחרי רב שימושי הבנוי מטרנסיסטורים. בסב־סוב זה יש כמה אפשרויות להיערכות התחלית ולהסבה. שים לב לשימוש בחיזוקים דיאודיים של 6— וולט בפלטי הקולקטורים, כדי לשמור על רמות לוגיות קרובות ככל האפשר ל־0 וולט ול־6— וולט. פעימה הנמסרת למונח תיגרום למעגל להפוך את מצבו, מבלי להתחשב במצב ההתחלתי.



ציור 17—5. תרשים מלבני פשוט של מונה בינרי בעל 4 שלבים אשר יכול לספוֹר עד 16 (כולל 0 כמספר). המלבנים הם סב־סובים הדומים לאלה שבציור 16—5. מונים מסוג זה יכולים לספור כמה מליונים של פעימות במשך שניה.

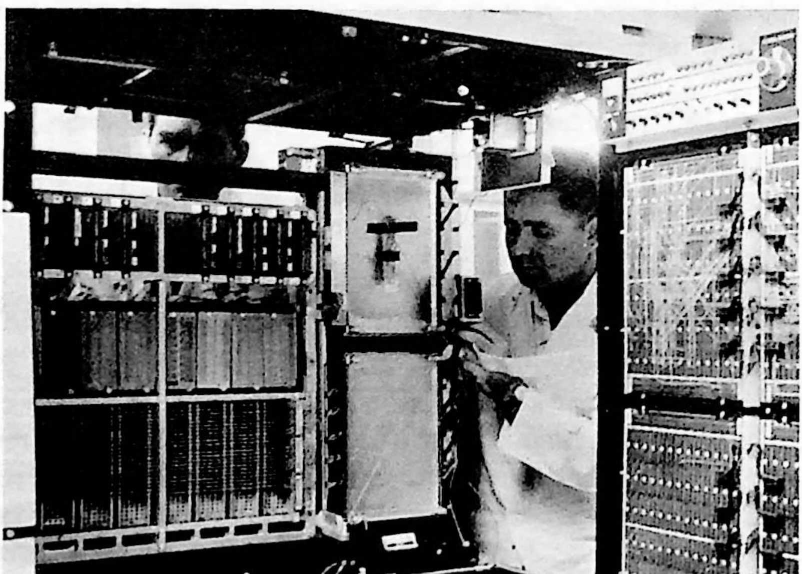


ציור 18—5. שלושת „דורות" המחשבים מוצגים בתצלום: הדור הראשון פעל על יסוד שפופרות ריק (מהירותו נמדדה באלפיות השניה) והכיל עשרות אלפי שפופרות־ריק. החסרונות: תפוסת נפח, קרינת חום מרובה ושיעור מהימנות נמוך. דור המחשבים השני פעל כבר על יסוד טרנסיסטורים. בתחום מהירות של מיקרו־שניה (מליונית השניה) השבבים — הטרנסיסטורים הזעירים — דור המחשבים השלישי, איפשרו לצמצם את המרחקים בין הטרנסיסטורים ולפתח מעגלים מיקרו־אלקטרוניים. המהירות — ננו־שניה (חלק הבליון של השניה).

של 1, כפי שנדרש בספירה בינרית עולה רגילה. הפעימה הרביעית מחזירה את השלב הראשון למצב 0. ע"י כך, נעשה הקולקטיר השמאלי שלו שלילי וכתוצאה מכך סב השלב השני גם כן, ממצב 1 למצב 0. עקב כך נעשה הקולקטור השמאלי של השלב השני שלילי ומסב את השלב השלישי למצב 1. ספירה עולה זו נמשכת עד אשר אחרי מסירת חמש עשרה פעימות לקלט, נמצאים כל השלבים במצב של 1. אם נסתכל על ארבעת השלבים באופן סמלי, נראה כי הם מאחסנים את המספר 1111

שהוא הביטוי הבינרי למספר 15. הפעימה השש־עשרה מחזירה את כל השלבים למצב 0. אם נוסיף לתמונה שלב חמישי, באופן שהקולקטור השמאלי של השלב הרביעי ישמש קלט של השלב החמישי, יוכל המונה לספור עד 32 (כולל 0 כמספר), וכך הלאה.

על ידי שימוש במעגלי היזון חוזר מיוחדים, אפשר להשתמש באותם אלמנטים לספירת מספרים עשרוניים לפי בסיס בינרי. לצורך זה מסודרים האלמנטים בקבוצות של ארבעה. בכל פעם שאחת ממערכות אלה של ארבעה אלמנטים, מקבלת את אות הקלט העשירי, גורם מעגל ההיזון החוזר למסירת הפעימה לקבוצה הבאה בסדר החשיבות. כל השלבים מוחזרים אוטומטית למצב 0 בבת אחת. דבר זה מונע פעולות גומלין בין השלבים בתוך הקבוצה, מפני שלשלבים הבאים מחוברים מתחים המונעים הולכה.



ציור 19—5. מהנדסי אחזקה בודקים מעגלים שונים בתוך מערכת י.ב.מ./360.

6

אמצעי התקשורת בין האדם למחשב

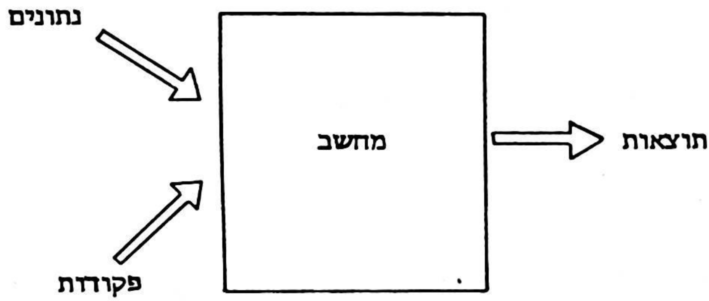
חלק גדול מהמחקר מופנה היום לפיתוח שיטות חדשות וטובות יותר, כדי לגשר על הפער בין האדם למכונה. על האדם להודיע את מבוקשו למחשב, ואילו על המחשב להגיש את תוצאות עיבודיו בצורה שימושית לאדם.

מחשבים מודרניים מסוגלים לקבל אינפורמציה בדרכים שונות. כדי שיוכל אדם להכניס את נתוניו ופקודותיו למחשב, עליו, קודם כל, לתרגם את בעיותיו לשפת מחשב, לצורה שהמכונה יכולה לקבל.

אינפורמציה של קלט

יש לספק למחשב שני סוגים של אינפורמציה: את הנתונים שיש לעבד ואת הפקודות או ההוראות האומרות למחשב מה לעשות בנתונים שנמסרו לו. הפקודות מרכיבות את בסיסה של תכנית העיבוד. הן שונות מתכנית לתכנית בכמותן ובמורכבותן, בהיותן תלויות בסוג הבעיה הנפתרת, ובמחשב שבשימוש. קימות שיטות רבות להכנסת התכנית למחשב (ראה ציור 1—6) וצורות שונות בהזנת המחשב בנתוני הקלט. בבעיות מדעיות, בהן כמות נתוני הקלט עשויה להיות קטנה בהשואה לתכנית העיבוד, אפשר להכניס את הנתונים באמצעות לוח מקשים ידני, במהירות מספקת. על כל פנים, ברב השימושים של עבוד

נתונים כמות הנתונים שיש לעבד גדולה מכדי שאפשר יהיה להשתמש בהתקן קלט איטי כזה, המכניס למחשב בכל נקישה תוו אחד בלבד. ברב המחשבים (ויש יוצאים מן הכלל) הזמן הדרוש להכנסת הנתונים והפקודות מגדיל את משך העבוד וגורע מיעילות הביצוע של המחשב. ככל שהתקן הקלט איטי יותר כן פוחתת יעילות המתקן כולו וגדלה העלות לבעיה.



ציור 1—6. יש להזין המחשב בשני סוגים של אינפורמציה: (1) נתונים הדרושים לעבוד; (2) הוראות או פקודות האומרות למחשב מה לעשות בנתונים. השיטות להכנסת שני הסוגים יכולות להיות זהות או שונות. הדבר תלוי בבעיה ובמחשב שבשימוש.

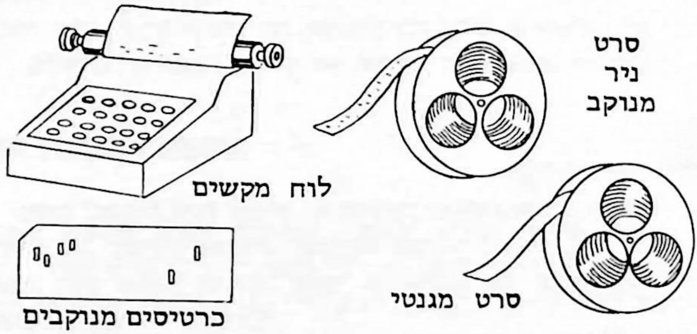
הכנת הקלט

כדי למנוע את הפחתת היעילות, יש לתרגם את הנתונים לצורה אותה יכול המחשב לקבל, בקצב קליטת האינפורמציה האופטימלי שלו. צורות קלט מסוימות גורמות להאטת קליטת האינפורמציה, ואילו אחרות — להג־ברת קצב קליטת האינפורמציה. דוגמה טיפוסית להגברת מהירות קליטת הנתונים היא הכנסתם למחשב באמצעות סרט מנוקב או סרט מגנטי במקום לוח מקשים ידני (המכניס תו אחר תו) (ראה ציור 2—6). מפעיל מאומן יכול לנקב סרט ניר באמצעות לוח מקשים, בקצב של תוים אחדים לשניה. כאשר הסרט המנוקב מוכן, יכול המחשב לקרוא אותו בקצב של 1000 תוים לשניה (ויש מחשבים איטיים יותר ומהירים יותר). סרט מגנטי, לעומת זאת, נקרא בקצב של עשרות רבבות תוים בשניה.

אל השימוש בציוד עזר (peripheral), להכנת האינפורמציה לקליטה במחשב, מתיחסים כאל פעולה מותרת (off-line) (ראה ציור 3—6). המחשב אינו מעורב בפעולה זו, למרות שאפשר לקשור ציוד זה באופן ישיר למחשב, כדי שישמש כהתקן קלט או פלט. מנקבת כרטיסים, לדוגמה, יכולה לשמש להמרת נתונים מסרט לכרטיסים ולאחר מכן לשמש עם המחשב כהתקן פלט או קלט של כרטיסים. בשימוש הראשון פועלת המנקבת כמנקבת מותרת (off-line), אך בשמשה התקן קלט או פלט היא קשורה (on-line) אל המחשב.



ציור 2—6. מחשבים אחדים משתמשים באותו התקן לקלט ולפלט גם יחד. טיפוסי הוא Bendix G-15 המשתמש במכונת הכתיבה המוצגת. התקן פלט אחר שאפשר לחבר למחשב זה הוא מתווה (plotter) גרפי של פונקציות (x-y) המופיע בצידו הימני של שולחן המפעיל. מצד שמאל ברקע, ניצבים שני כוננים של סרט מגנטי המשמשים כזיכרון רב כמות, בעל מהירות־גישה־בינונית לנתונים המאוחסנים בו.



ציור 3—6. אמצעי קלט טפוסיים למחשב כוללים מכונת כתיבה הדומה למכונת הכתיבה החשמלית הרגילה, כרטיסים מנוקבים, סרט ניר מנוקב, וסרט מגנטי. הכנתם של שלושה האחרונים נעשית בדרך כלל על ידי ציוד עזר שאינו קשור אל המחשב. אמצעי הקלט מוצגים בסדר עולה של כושרי מהירות.

כניסה למחשב

לפני שנכנס לפירוט נוסף של הכנסת אינפורמציה אל המחשב הספרתי והוצאתה ממנו, נתבונן באותו חלק של המחשב איתו אנו רוצים להתקשר. לכל מחשב יש לפחות כניסה ראשית אחת. כל יחידה של אינפורמציה המגיעה לכניסה הראשית, מקבלת תא זיכרון מיוחד, או מונה, בו תישאר עד אשר תידרש במשך החישוב. ברם, במחשבים במודרניים מגיעות לכניסה, בעת ובעונה אחת, לפחות סביות אחדות של אינפורמציה. הצירוף שלהן מייצג סמלים המציינים מספרים או אותיות או פקודות. במכונה המקבלת בכל פעם תו אחד בלבד, מועבר כל תו לתא זיכרון מסוים במהירות של חלקי מיליון של שניה, מהרגע שציוד הקלט מגיש אותו לשער הקלט. למכונות אחדות יש „חדר המתנה" בצורה של מונה קלט רב תווי, או מאגר (buffer), הממולא על ידי התקן הקלט. כאשר המאגר מלא מועבר כל תוכנו בבת אחת, לתאי זיכרון מתאימים.

בפרק 7 נדון בסוגים שונים של תאי זיכרון. לצורך הדיון בציוד קלט־פלט מספיק לדעת שתאים אלה הם התקנים דו מצביים אשר מצביהם נקבעים, בין השאר, על ידי נתוני הקלט.

דוגמה להכנסת נתונים

נחזור לשאלה כיצד ומדוע יש להעביר נתונים ממקום למקום במחשב אלקטרוני או, במילים אחרות, במערכת לעיבוד נתונים. כדי להבהיר את התשובה ניתן דוגמה לחישוב מוכר — חישוב מס־הכנסה. (לפי תקנות מס־ההכנסה הפדרלי בארה״ב).

במשך השנה צובר משלם המסים הכנסה, בדרך כלל, על בסיס שבועי או חדשי, ולעיתים בסכומים משתנים וממקורות שונים. חלק מהכנסתו הוא מוציא על מוצרים שאינם חייבים במס. מעבידו מחזיק בחלק משכרו כדי לשלם את מסיו בהתאם לחוק. בסוף השנה מוצא עצמו משלם המסים בפני חישוב מסכם קשה יחסית. נוסחה מתמטית לחישוב כזה עלולה להיות מסובכת לאין שעור, מפאת המספר הבלתי מוגבל כמעט של נסיבות מיוחדות, הנובעות ממצבו האישי של כל משלם מסים. עקב כך, מכין משרד מס הכנסה טופס מיוחד, שנועד לסייע למשלם המסים לחשב את מסיו.

ההוראות שבטופס זה זהות לתכנית של מחשב אלקטרוני. החללים המיועדים לרישום האינפורמציה הדרושה לחישוב, זהים מבחינת תפקידם לתאי הזיכרון של המחשב.

האינפורמציה הנרשמת בחללים אלה תואמת לנתוני קלט.

עטו של משלם המסים או מכונת הכתיבה שלו הם התקן הקלט. (עטו יכול להיות גם התקן פלט, אם בגמר החישוב מראות התוצאות שהוא חייב יותר כסף).

את גליון הניר החלק הנלווה לעיתים לטופס המס, אפשר להשוות ליחידה האריתמטית של המחשב, בה מבוצע החישוב.

כדי לראות כיצד יטפל המחשב בחישוב מס הכנסה, ניקח מקרה פשוט ביותר. נתוני הקלט יאורגנו ויוגשו כך שנתונים כספיים (נתונים מספריים) יוכלו להיכנס למוני איחסון או תאי זיכרון מוכתבים מראש. יחד עם זה, המחשב צריך להיות מסוגל לקלוט גם אינפורמציה אלפביתית — שמו של משלם המסים, כתובתו, מעבידו ואינפורמציה אחרת הכרוכה באותיות אלפבתיות.

את נתוני הקלט מכינים בלשון המחשב באמצעות ציוד העזר המתאים ביותר לבעיה. אפשר להשתמש במכונת ניקוב המופעלת ע"י מקשים, כדי להכין כרטיסים מנוקבים המכילים את נתוני הקלט המבוקשים. כרטיסים אלה מוכנסים לאחר מכן לקוראת הכרטיסים של המחשב, ותכנית העבוד המתאימה (במקרה זה מערכת של הוראות) נבחרת ומופעלת.

כניסה לפי הוראה

על ידי סידור מוקדם מוגשים הנתונים בסדר מתאים. התכנית מורה להתקן הקלט להעביר את החטיבה הראשונה של התוים למונה אחסנה 1, המתאים לחלל המוקצה בטופס, לשמו של משלם המסים. המערכת השניה של תוים מועברת לשטח המוקצה לכתובת. תהליך זה נמשך, עד אשר כל נתוני הקלט כולל הכנסה, תשלומים על חשבון המס, הוצאות רפואיות, תרומות ואינפורמציה אחרת, נמצאים במקומות שהוקצו להם בזיכרון.

בסיומו של שלב טעינת הזיכרון, יכול להתחיל שלב החישוב. התוכנית מורה למחשב להוציא את נתוני ההכנסות בזה אחר זה ולחבר אותם כדי לקבוע את ההכנסה הכוללת לשנת המס. תוצאה זו מוחזרת למקום נבחר בזיכרון. לאחר מכן קוראת התוכנית לנכויים והמחשב מחבר שוב, כדי לקבוע את הסכום הכולל ומחזיר אותו לזיכרון. העיבוד מתקדם עד אשר מופיעה התוצאה הסופית במונה התשובה. בנקודה זו חשוב להבין דבר אחד בלבד והוא, חשיבות היכולת להעביר נתונים ממקורות חיצוניים לתאים נבחרים בזיכרון המחשב. קצב העברת הנתונים שונה ממחשב למחשב. כמו כן שונה כמות הנתונים המוזנת עם כל הוראת הזנה (הוראת הקריאה של נתונים). בכל מקרה, הנתונים נכנסים בנקודה אחת ויש להעבירם באופן פיזי בתוך המחשב אל מקומות נבחרים בזיכרון. כדאי לצורך הבנת אמצעי קלט־פלט לצפות קדימה לרגע ולראות מה קורה לנתונים מהרגע שהם מוגשים למפתן המחשב.

מעגלי קלט ספרתיים

ראינו כיצד אפשר לתאר את המספרים מ־0 עד 9 בעזרת 4 סביות של אינפורמציה, כשתכנה של כל סבית הוא 0 או 1. אילו היו לנו 4 מתגים שכל אחד מהם הוא דו מגעי כמתואר בציור 4—6, יכולנו להגדיר בקלות כל מספר ספרתי המורכב מ־4 סביות. על ידי חבור המתגים לנקודות המגע

המתאימות היינו מקבלים את המספר המבוקש. באופן שרירותי אנו אומרים כל קו המראה 6— וולט ייחשב כ־1, וכל קו המראה 0 וולט ייחשב כ־0.

המונים (registers) של מחשב מורכבים ממספר התקנים דו־מצביים שמצבו של כל אחד ניתן לשנוי מרחוק ולחישה (sensing) או בדיקה מרחוק.

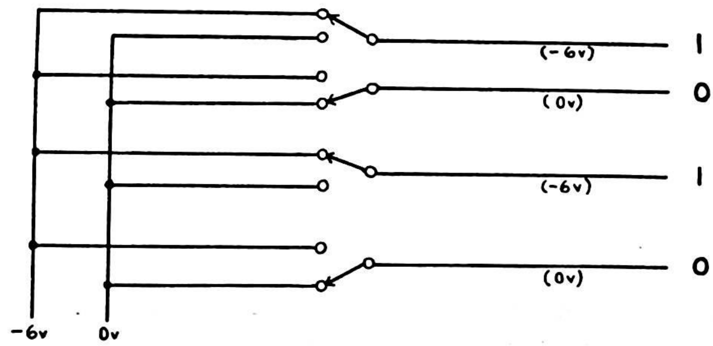
המונה הוא מקום אחסון זמני בשביל נתונים, אולם הוא מסוגל לשמור על האינפורמציה הנמסרת לו עד אשר מחזירה אותו התכנית, במתכוון, למצבו המקורי (מוכן לקליטה מחדש). כמו הנדנדה שמצבה נשמר על ידי השפעת כוח המשיכה על הכדור, שומר האלמנט של מונה האחסון על מצבו באופן חשמלי. המונה משנה את מצבו כאשר נמסרת לתחנה המתאימה פעימה חשמלית רגעית, (כמו דחיפה רגעית של הצד העליון של הנדנדה כלפי מטה). מונים אלקטרוניים מסוימים משנים את מצביהם בשבר של מליונית שניה.

הזנה על ידי פעימות חשמליות

כאשר אנו מבקשים לאחסן אינפורמציה במונה של מחשב (וזוהי למעשה המטרה של כל התקני הקלט של מחשב), מנתבים פעימות חשמליות (באמצעות תילים) לתחנות המתאימות של יחידות האחסנה הבודדת המרכיבות את המונה. יחידות אחסון הבנויות מסב־סובים (flip—flops) הן סימטריות, הן מבחינה פיזית והן מבחינה חשמלית. לכל „צד" של הסב־סוב יש קלט אחד, ומצב מעגל הסב־סוב נקבע לפי הקלט המקבל פעימה חשמלית.

הבה נאמץ בנקודה זו של הדיון כלל מעשי ונאמר שאם פוטנציאל של 6— וולט נמסר לרגע לתחנה 1 של יחידת האחסון ייסגר המעגל (תיווצר הולכה) והיחידה תאחסן 1 לוגי. לעומת זאת, מסירת פוטנציאל של 6— וולט לתחנת ה־0 תגרום, באופן דומה, לפתיחת המעגל (לא תיוצר הולכה) והיחידה תאחסן 0 לוגי. כדי לאחסן מספר בן 4 סביות בספרה אחת של מונה במחשב, יש צורך למסור פעימות מתח שליליות לצדדים המתאימים של היחידות הנוגעות בדבר. דרישה זו מתמלאת על ידי מעגל פשוט, המתואר בציור 5—6, בו המתגים הדו מגעיים קובעים את ניתוב הפעימות הנובעות מסגירת מתג „הטעינה" של המחשב. למרבה הצער, דורשת מתכונת זו שני תילים לכל יחידת אחסון.

אם אנו מפעילים את תהליך הטעינה כאשר כל יחידות האחסון הן במצב 0 יש צורך לנתב רק פעימות המיצגות 1. ציור 6—6 מדגים כיצד



ציור 4—6. ארבעה מתגי היסט דו־מצביים מאפשרים להעביר מרחוק אינפורמציה עשרונית בת ארבע סביות בינריות. באופן שרירותי אנו אומרים כי מתגים במצב של 6— וולט מציינים 1 ומתגים במצב של 0 וולט מציינים 0. מד־המתח שבקצה ארבעת התילים יכול לגשש מרחוק את האינפורמציה המסומלת (במתחים).

אפשר לבצע זאת. לפני הטעינה מוסבות כל היחידות למצב 0 שלהן על ידי סגירה רגעית של מתג „ההחזרה". לאחר מכן אפשר, באמצעות ארבעה תילים וארבעה מתגים סוגרים־פותחים פשוטים, להסב את היחידות המתאימות למצב 1.

כדי לאחסן ספרה נוספת בעמודת ספרה נוספת של המונה, יש להעביר את ארבעת התילים, לצדדים הסוגרים של המערכת הבאה של יחידות האחסון, לשנות את מתגי הקלט בהתאם לסמל החדש, ולסגור את מתג „הטעינה", כדי לחולל את הפעימה החשמלית השלילית המסבה את היחידות המאחסנות, למצבי 1.

כדי לאפשר חלוקה מהירה של האינפורמציה בתוך מונים גדולים בפרקי זמן קצרים מאד, אפשר להסב את התילים באופן אלקטרוני. גם עם מפלגים (distributors) אלקטרוניים כאלה, אשר סבים בין איזורי אחסנת נתונים, עדיין קיים גורם מגביל, בתרשים שלמעלה, והוא הנדרש להסבת המתגים בהתאם לסמלי הקלט. סוגים מסוימים של לוחות־מקשים

ידניים נותנים צירופי מתגים מתאימים, כאשר המפעיל לוחץ על מקש בודד. אבל סידור זה הוא איטי ביחס לדרישות של עבוד נתונים, בו מרבית הזמן מוצאת על הכנסת נתונים. במקרים כאלה חיוניים קצבים מהירים של הכנסת נתונים.

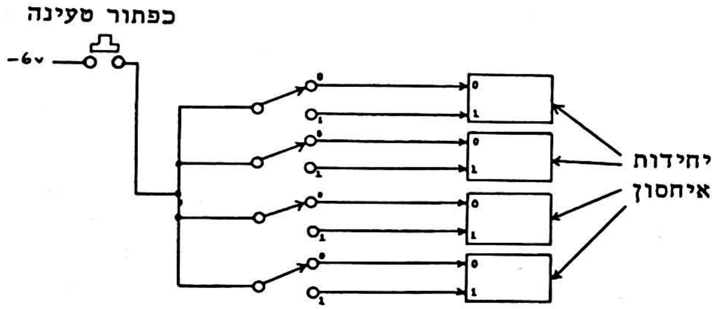
התקני קלט של סרט מנוקב

סרט ניר בעל נקבים מסומלים ונקודות חסרות נקבים ממלא את אותו תפקיד שממלאים לוח המקשים והמפעיל שלו. **מובן שיש צורך** להכין את הסרט, אולי אף על ידי אותם מפעיל ולוח מקשים (יחד עם מנקבת סרט), אבל כאשר הסרט מוכן יכול המחשב לקרוא אותו במהירות גבוהה, ועל ידי כך פוחת זמן המחשב המוצא על קליטת נתונים.

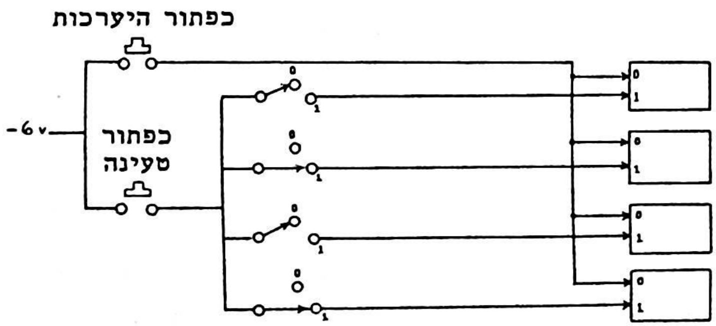
מפאת הרב־גונות הרבה של צפנים ושמושים, גדולה גם הרב־גונות של סרטים מנוקבים והציוד המטפל בהם, האפשריים לשימוש במחשב. סרטים מנוקבים מסוימים עשויים מחומר פלסטי, אחרים עשויים בצורה של כריך שבמרכזו אלומניום או ניר ובשני צידיו שכבות ציפוי דקות של חומר פלסטי. סרטים אחדים עשויים מניר פשוט בצבעים שונים, אחדים שקופים ואחרים אטומים.

הסרטים הנפוצים הם בני חמשה, ששה או שמונה מסלולים (מלבד מסלול חורים המיועד לגלגל שיניים). ברוב המערכות מנוקבים חורים בסרט, אולם ישנן מערכות היוצרות שקעים בגוף הסרט, במקום נקבים. בשני הסוגים מבטאים את האינפורמציה על ידי נקבים ולא־נקבים (או שקעים ולא־שקעים). כל טור של נקבים ולא־נקבים, לרוחב הניר (אנכית לאורכו), מיצג תו לפי צופן בינרי.

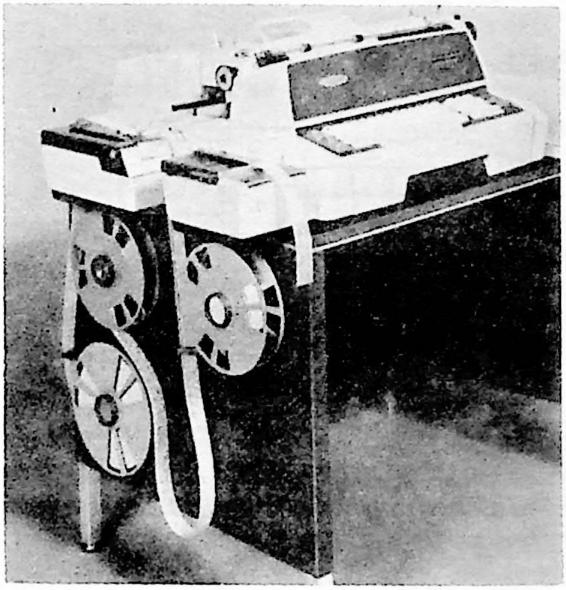
הניקוב הוא מיכני. מהירות המכונות המנקבות נעה בין תוים אחדים לשניה למאות תוים לשניה. (ראה ציור 7—6). את המנקב אפשר לקשור באופן חשמלי או באופן מיכני ללוח מקשים. כאשר לוחץ המפעיל על אחד מהמקשים, מנוקב הסמל המתאים בעמודת הספרה הבאה הפנויה באופן אוטומטי. אם המפעיל לוחץ על המקש של המספר 7, לדוגמה, מופעלים המנקבים של שורות אחת שתיים ושלוש, ונבלמים המנקבים של שאר השורות. על ידי ייחוס משקלים בינריים לשורות, כפי שהוסבר בפרק 5, נמצא המספר 7 מסומל ורשום על גבי הסרט. כאשר נסוגים המנקבים מהניר, מביא התקן חשמלי־מכני את העמודה הבאה למקום הניקוב, והמערכת מוכנה לקראת הלחיצה הבאה של המפעיל.

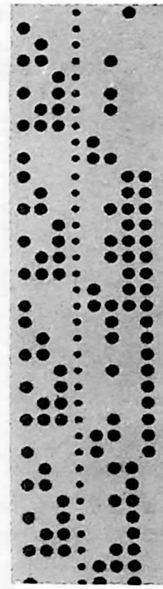


ציור 5—6. יחידות אחסון טפוסיות מוסבות למצבים של 0 או 1 על ידי מסירת פוטנציאל רגעי של 6— וולט ל„צד״ המתאים שלהן. מתגי היסט מפעילים את הניתוב הדרוש וכפתור הלחיצה מסייע להעברת פעימה רגעית של 6— וולט. שימו לב שכדי להעביר 4 סביות ממתגי ההיסט ליחידות האיחסון דרושים שמונה תילים.



ציור 6—6. על ידי הסבת כל יחידות האחסון למצב אחיד לפני הכנסת האינפורמציה אליהן, אפשר להשתמש לקישור המתגים ויחידות האחסון בתיל אחד לכל סבית. בדוגמה המוצגת מוסבות כל היחידות ל־0 על ידי מסירת אות של 6— וולט לכל קלטי 0. במשך הטעינה, פעימות מנותבות של 6— וולט לקלטי 1 של כל יחידות האחסון העומדות לאחסן 1. יחידות אחרות נשארות במצב 0.

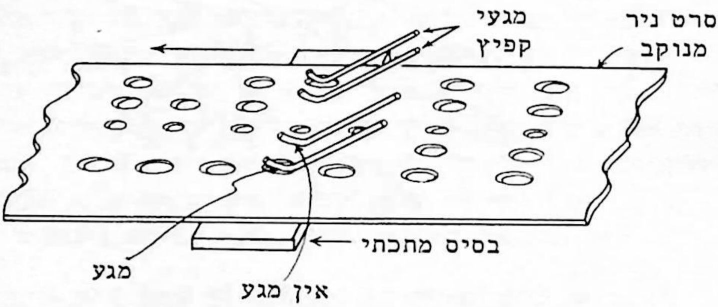




ציור 6—7. מנקב סרט ניר מסחרי טיפוסי. סמלים ספרתיים מוגשים לתחנות הקלט ומנקבים נבחרים יוצרים חורים בכל מקום שצריך להופיע 1 (דגם מחב׳ .FRIDEN INC). מימין: קטע מסרט ניר מנוקב על סימוליו. הנקבים הקטנים שבמרכז הסרט מיועדים להנעת סרט הניר, בקצב התוים המנוקבים בו. הנקבים הגדולים מיצגים אינפורמציה. כל טור לרוחבו של הניר מייצג תו אחד של אינפורמציה.

קוראי סרט ניר

נדון עתה בבעיה של קריאת סרט מנוקב. התקן קריאה פשוט (אם כי לא כל כך מעשי) מתואר בציור 6—8. כאשר הסרט עובר דרך מנגנון הקריאה, נוצרים מגעים חשמליים במקומות בהם מכיל הסרט חורים. הבידוד החשמלי הנוצר במקומות שאינם מנוקבים יוצר את המצב ההפוך (היעדר מגע) לזה שבמקומות המנוקבים (קיום מגע). באופן זה הפעלנו באורח אוטומטי את התפקיד שמלאו מתגי היסט בציור 6—6. התוים מתורגמים איפה ללשון חשמלית, בה יכול המחשב להשתמש, כדי לאחסן את הנתונים ביחידות הזיכרון.

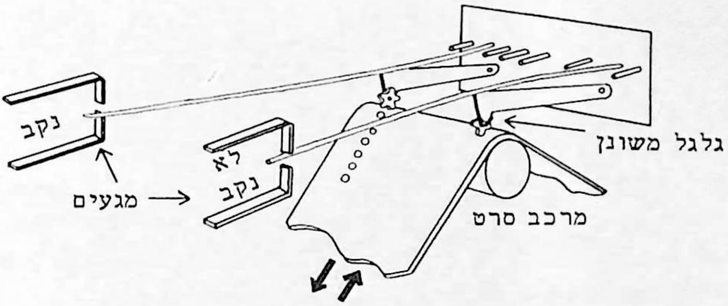


ציור 8—6. כדי להגביר את מהירות הקליטה של נתונים משתמשים לעיתים קרובות בסרט ניר מנוקב. המגעים הנוצרים דרך החורים המציינים סביות של 1 יכולים להחליף את מתגי ההיסט המתוארים בציור 6—6. באופן זה מכניסים את הנתונים ליחידות האחסון, באורח אוטומטי.

לשיטה הפשוטה שתיארנו בציור 8—6 יש כמה חולשות. היא רגישה ללכלוך ולאבק אשר יכולים למנוע או להשהות מגע ולגרום לפסיחה על חור. כמו כן, היא גסה לגבי ניר, דבר שיש בו כדי לגרום לתוצאות חמורות בשמושים מסוימים.

סוג אחר של קורא מתואר בציור 9—6. לקורא זה יש גלגלי שיניים בצורת כוכבים הערוכים בכיוון המסלולים. הגלגלים מוחזקים מול הסרט על ידי קפיץ. כאשר נתקל הגלגל בחור מסתובבת השן המובילה ונכנסת אל הנקב (הניר נע דרך הגלגלים), על ידי כך מושפלת הזרוע המחוברת אליה ומוסטת מנקודת המגע הגבוהה אל נקודת המגע הנמוכה (כמו מתג היסט דו־מגעי). אם הטור הבא מכיל נקב באותה שורה, יישאר המגע בנקודה הנמוכה. כאשר מופיע לא־נקב חוזר הגלגל למצב החלקה על פני הניר ונשאר במצב זה עד אשר מופיע נקב נוסף. באופן זה ממלאה השיטה את הדרישה לשני מצבים ל־1 ו־0. (מתג סגור או מתג פתוח).

לשתי מערכות הקריאה שתוארו מהירות מוגבלת. הן שימושיות מאד לשיעור קריאה של 60 תוים בשניה. כאשר דרושות מהירויות גדולות יותר משתמשים בשיטות אלקטרוניות.



ציור 9—6. טפוס משופר של קורא סרטי ניר משתמש בגלגלי שינים. **שיני** הגלגים ננעצים בניר במקום שיש נקבים ומחליקים עליו במקום שאין נקבים. באמצעות קישור מיכני הפועל כמתג דו־מצבי אפשר לקבוע מרחוק את קיומו של מצב 1 או מצב 0.

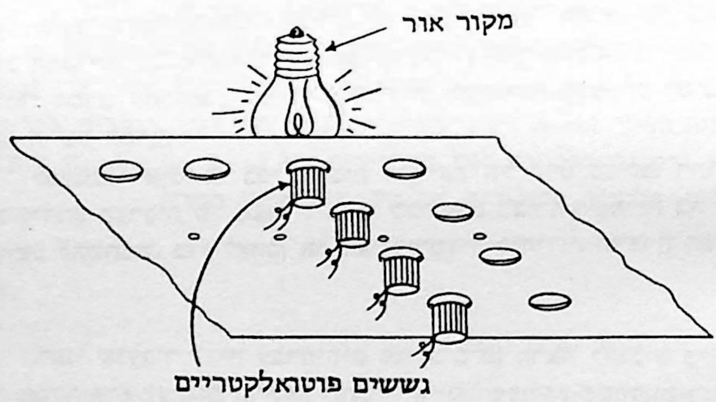


ציור א9—6. מכונה לקריאת סרטי ניר מנוקבים במהירות של 1000 סימנים בשניה. מכונה זו קוראת סרטי ניר בעלי 5, 6, 7, או 8 ערוצים (י.ב.מ. 2671).

קוראי סרט ניר פוטואלקטריים

ציור 10—6 מדגים קורא סרט ניר פוטואלקטרי. הקריאה הפוטו־אלקטרית מבוססת על ניצול אטימות הסרט. מצד אחד של הניר מוצבת מנורה ומן הצד השני — גששים (detectors) רגישים לאור, אחד לכל מסלול. הגשש קובע את מציאותו של 1 או 0 לפי החדירה או אי החדירה של אור במקום מסוים על הניר. האותות המתקבלים מתאים פוטואלקטריים אלה חלשים מדי בשביל המחשב ודורשים, לכן, הגברה. המגברים הנדרשים לקריאה פוטואלקטרית מיקרים את עלות הקוראים הפוטואלקטריים, בהשואה לקוראים מכניים. כרגיל יש לשלם בשביל יתר מהירות וגמישות.

אחד היתרונות החשובים של מערכת סרט מנוקב, היא יכולתה להתחיל ולהפסיק במקומות רצויים, ולפעול באורח סינכרוני (בקצב מחזורי מסוים) ובאורח אסינכרוני (בקצב אקראי או בצירוף של קצבים מחזוריים ואקראיים). במכונות איטיות לא קשה למלא דרישה זו, מפני שהתקדמות הסרט מופעלת באופן טבעי על ידי מסירת זרם חשמלי



ציור 10—6. גששים פוטואלקטריים לגילוי נקבים ולא־נקבים מאפשרים להגביר את מהירות הקריאה של סרט ניר. מגברים אלקטרוניים מגדילים את כמות המתח הנוצרת על ידי הגששים הפוטואלקטריים, לרמות שימושיות למעגלים לוגיים.

להתקן אלקטרומכני, אשר מקדם את הסרט מחור שן אחד לחור השן הבא. כאשר מדובר במהירויות גבוהות יותר אי אפשר להשתמש בחורי השיניים ובשיטת קידום זו, מפני שהסרט אינו מספיק חזק כדי לעמוד בכוח המרוכז הנדרש להאצה או האטה במחזור אחד של קצב הקריאה.

כדי להתגבר על קושי זה משתמשים בציוד המהיר במערכת של כננים (capstans) וגלילי לחץ (pinch rollers). הכנן מסובב במהירות גדולה על ידי מנוע. הסרט מתקדם כאשר גליל הלחץ, המופעל באופן חשמלי, לוחץ אותו כלפי הכנן. פרטים נוספים על נושא זה יינתנו בהקשר עם הדיון בציוד לטיפול בסרטים מגנטיים.

סרט מנוקב המכיל נתוני קלט כולל לעיתים גם הוראות מסוימות לגבי הזנת האינפורמציה למחשב. לדוגמה, אחד מהצירופים של חורים או לא־חורים (שאינו משמש להגדרת נתוני קלט) יכול לשמש כסימן לעצירת זרימת הנתונים המציין את סופה של חטיבת נתוני קלט. ציוד הקריאה והמעגלים שלו חיבים להיות מסוגלים לחוש את הסימן ולפרשו נכון. ההתקן המטפל בסרט צריך לעצור את הסרט ללא נזק ומבלי להיכנס לעמודת התו הבא, אחרת תלך אינפורמציה לאיבוד. דרישה זו היא די רצינית כאשר מונע הסרט במהירות של 100 אינצ׳ים לשניה (מהירות הסרט ל־1000 תוים לשניה כשכל אינצ׳ מכיל 10 תוים). הומצאו שיטות משוכללות לשמירה על מתיחות הסרט, שכולן מיועדות לשמור על היתרון הראשון במעלה של ציוד סרט מנוקב — היכולת לעצור בסימן עצירה ללא גלישה אל הנתונים הבאים, המרוחקים 1/10 אינצ׳ בלבד מסימן העצירה. כדי לעצור את הסרט, משתמשים, ברוב המקרים, בבלמים מהירים. מערכות היזון חוזר אלקטרוניות גורמות לגלגלי הסרט להסתובב בכיוון ובמהירות הדרושים לשמירת המתיחות הרצויה של הסרט.

לסיכום, ראינו כי בכל שיטות הקריאה של סרט מנוקב, התוצאה היא סידרת מערכות של מצבי 1 או 0, מבוטאים בצורה חשמלית בה יכול המחשב להשתמש, כדי לאחסן את האינפורמציה ביחידות הזיכרון הפנימי שלו.

לפני שנעבור לדיון בכרטיסים מנוקבים מן הראוי להדגיש כי סרט ניר מנוקב הוא לעיתים קרובות תוצר־לואי של עבודות משרדיות רגילות כגון הנהלת חשבונות. מכונות משרדיות רבות כמו מכונות סיכום, מכונות ביול, מכונות חישוב ומכונות להנהלת חשבונות כוללות התקנים לניקוב סרט ניר כתוצר הנלווה להכנת הפלט הראשי של המכונה.

להיותו של הסרט תוצר לואי חשיבות כפולה. מצד אחד מושג

חיסכון בהכנת הנתונים למחשב. מצד שני, הפלט הראשי (כרטיס חשבון לדוגמה) יכול לשמש מקור לבדיקת נכונות הניקוב, כלומר נכונות הנתונים הניכנסים לעיבוד במחשב.

קלט-פלט של כרטיסים מנוקבים

אמצעי הקלט־פלט הנפוץ ביותר הוא, קרוב לודאי, הכרטיס המנוקב הידוע. שני המצבים הנפרדים מתבטאים בכרטיס על ידי הימצאותו או חסרונו של חומר בנקודות על גבי הכרטיס, המוגדרות ומזוהות על ידי מערכת צירים. כרטיסים מנוקבים כבר היו בשימוש במרשם התושבים של ארה״ב לפני תחילת המאה שלנו. אם כי הציוד בו השתמשו בזמנו היה פשוט, הובילה מתכונת הכרטיס שנבחרה אז, לפיתוח הכרטיסים המנוקבים הנהוגים היום.

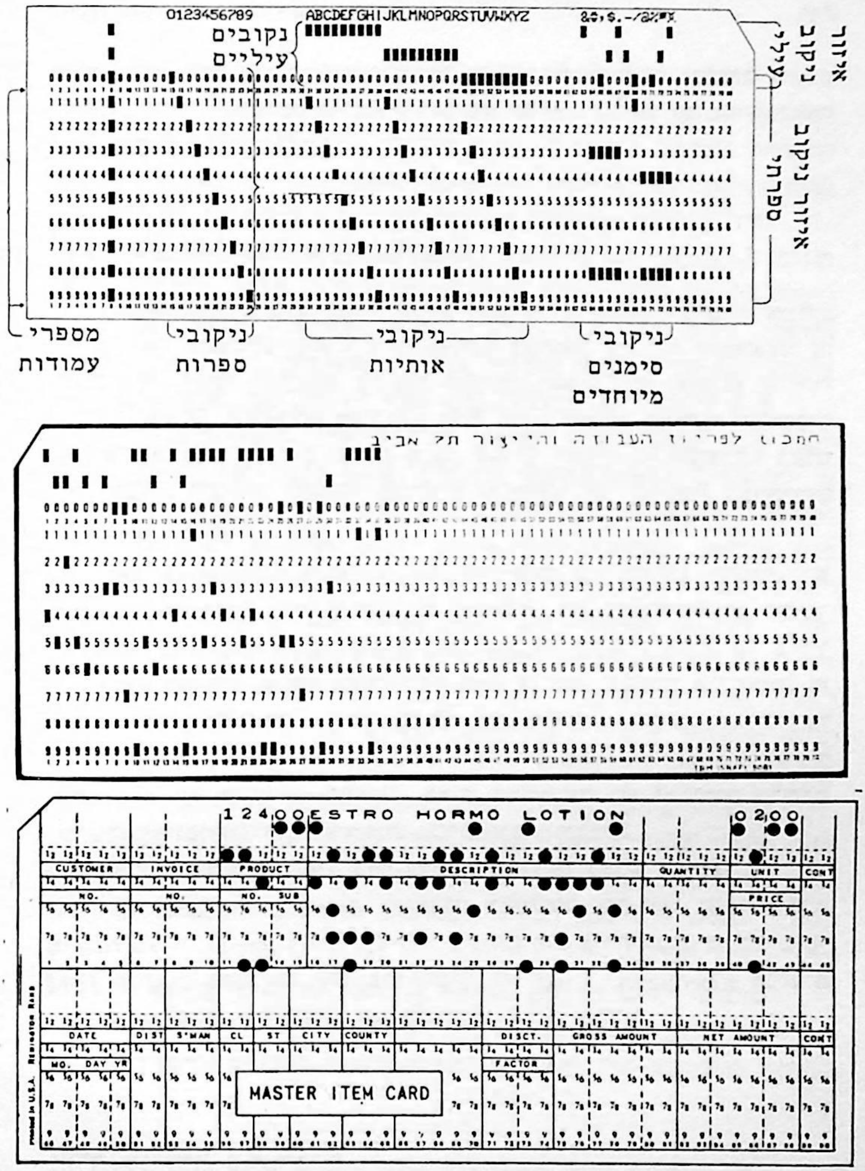
למרות שהניקוב והקריאה של כרטיסים הם איטיים, יחסית, יש להם יתרונות רבים בסוג מסוים של שימושים של עיבוד נתונים. אפשר לאחסנם בקלות ובזול. יש להם קיבולת איחסון בינונית המספיקה בדרך כלל להחזקתה של תנועה חשבונאית אחת או שם וכתובת או הזמנה או מכירה אחת. השימוש הנרחב בכרטיסים מנוקבים הביא לבניתן של מכונות עיבוד שונות ורבות, הן בשביל עובדים מחוץ למחשב, והן בשביל קלט ופלט של עיבודים במחשב. לרוב המחשבים יש סידורים כלשהם לטיפול באינפורמציה המאוחסנת בכרטיסים מנוקבים.

רוב הכרטיסים המנוקבים כיום, מתאימים לציוד המיוצר על ידי IBM או Remington Rand. דוגמאות כרטיסים של שני יצרנים אלה מוצגות בציור 6—11. השוני העיקרי ביניהם הוא צורת הנקבים. בכרטיסי IBM הנקבים מלבניים ואלו בכרטיסים של Remington Rand הנקבים עגולים. מבחינה תיפקודית הם משרתים אותה מטרה.

ציוד לניקוב כרטיסים

מנקבת כרטיסים טיפוסית מוצגת בציור 6—12. אין ספק שהקורא ראה והחזיק כרטיסים מנוקבים. הם נמצאים בשימוש נרחב בארגונים הנזקקים לעבוד נתונים בכמויות גדולות (חשוב על כרטיסי בוחר, רשיונות נהיגה ורדיו, מסים עירוניים, ועוד).

יש לציין כי הכרטיס מכיל מקומות לסביות בדומה למוגה איחסון



ציור 11—6. שני סוגים של כרטיסים מנוקבים (1) א' ו־ב' של חברת IBM ו־ג' של חברת Remington Rand נמצאים בשימוש במערכות לעיבוד נתונים. כל עמודה אנכית מיצגת תו אחד. כרטיס א' מראה את הרכב הנקבים לכל אות מאותיות האלף־בית הלועזיות, לכל ספרה מ־1 עד 9 ולסימני דפוס מיוחדים. כרטיס ב' נותן דוגמה להרכב הנקבים של האותיות העבריות. המלים הרשומות עליו מימין מנוקבות בצד השמאלי של הכרטיס. כרטיס ג' שונה מכרטיסי א' וב' רק בסוג הנקבים.

של המחשב. לדוגמה כרטיס IBM מכיל שמונים טורים אנכים, אשר כל אחד מהם יכול לאחסן תו אלפנומרי אחד. בכל עמודה יש עשרה מקומות לסביות המשמשות לאחסון מספר עשרוני. בשילוב עם שאר שלוש הסביות



ציור 12—6. מנקבת כרטיסים איטית מנקבת תו אחד או טור אנכי, בכל נקישה. המכונה מופעלת בעזרת לוח מקשים. מכונות ניקוב מהירות יותר מטפלות בכרטיסים לאורכם כלומר מנקבות בכל פעם שורה אפקית, ולא טור. שיטה זו, למרות מהירותה הניכרת דורשת יותר ציוד עזר. מכונות ניקוב בפעולה. תמונה זו מדגימה כי הכנת הקלט למחשב בכרטיסים מנוקבים כרוכה בעבודה רבה. בתצלום: חדר נקבניות במרכז למיכון משרדי.

שבעמודה (סביות עיליות) אפשר לסמל, לפי צופן מתאים, גם אותיות אלפבתיות וסימנים אחרים.

אחת ממכונות לניקוב כרטיסים מדפיסה על גבי הכרטיס את האינפורמציה המנוקבת בו, כך שכל אדם יכול לקרוא את הכרטיס. משתמש מנוסה בכרטיסים מנוקבים יכול לפענח את הנקבים בעיניו. לעיתים קרובות משתמשים בכרטיסים צבעוניים כדי להקל על פעולות ידניות ועל מיון. השימוש בכרטיסים הוא כה נרחב עד כי התפתחו בתחום זה גם יצרני ריהוט משרדי המציעים סוגים שונים של ארונות ומגרות מיוחדים לאחסון כרטיסים.

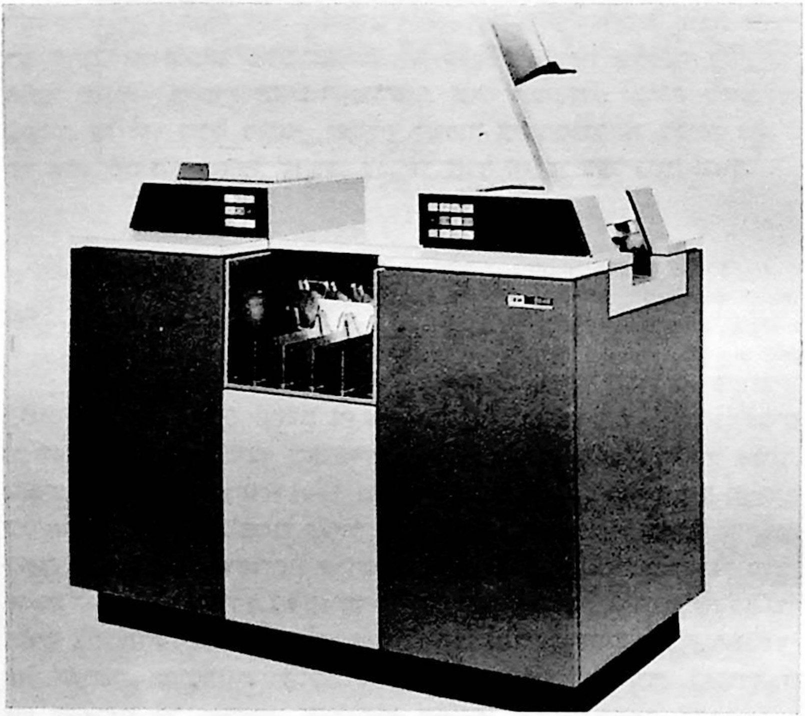
ישנן בשימוש טכניקות שונות לניקוב וקריאה המיועדות למחשב. הניקוב נעשה על ידי העברת כל כרטיס דרך מערכת של סכינים, המופעלים או שאינם מופעלים, לפי הצורך לאחסן 1 או 0 בכל מקום של סבית. מכונות ניקוב, מהסוג האיטי, מנקבות תו (טור) אחד בכל פעם, משמאל לימין. דבר זה דורש שמונים התחלות וסיומים. כל הנקבים בטור מסוים נעשים בעת ובעונה אחת.

ניקוב כרטיסים במהירות גבוהה

במכונות המנקבות שורה אחר שורה, צריך, קודם כל, לאחסן את כל שמונים התוים בזיכרון עזר או במחשב. בכל פעם שהמנקבת מזיזה את הכרטיס לשורה חדשה עליה להתבונן בזיכרון ול„הוציא" ממנו את האינפורמציה המתאימה לניקוב (סביות של 1). מנקבת מהירה מסוג זה, מסוגלת לנקב 100 כרטיסים לדקה, כאשר היא מוזנת על ידי מקור נתונים מהיר. במנקבת האיטית, המנקבת תו־אחר־תו, דרושות שניות אחדות לניקוב כרטיס בודד.

מכונות לניקוב וקריאה של כרטיסים הן האמצעים העיקריים לקלט ופלט של מחשבים אלקטרוניים מהירים. ישנן מכונות המכילות מרכיבים לוגיים אשר נותנים להן כמה מהסגולות האפייניות למחשבים. קיימים גם סוגים רבים של מכונות להמרת נתונים מסרט מגנטי וסרט מנוקב לכרטיסים מנוקבים, ולהפך.

בשלב זה ודאי כבר למד הקורא לצפות כי הגברת המהירות נובעת מהשימוש בטכניקות אלקטרוניות לצורך פעולות מיכניות. פעולות מיכניות כשלעצמן מגבילות, בגלל איטיותן היחסית, את יכולת הביצוע של ציוד לעיבוד וחשוב של נתונים.



ציור 13—6. מנקבת כרטיסים מהירה (300 כרטיסים לדקה) דורשת איחסון של כרטיס פלא (80 תוים) לפני התחלת הניקוב. המהירות מושגת על חשבון מחיר ומורכבות. בתצלום דגם IBM 2540.

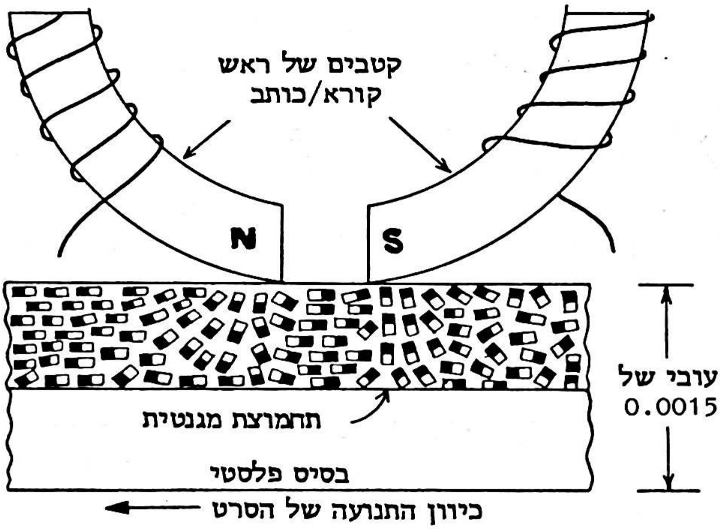
סרט מגנטי

גם הכרטיסים המנוקבים וגם הסרט המנוקב לוקים במיגבלה רצינית אחת — יש לסלק חומר מאמצעי האיחסון (ליצור חורים) ולכן, המהירות מוגבלת באורח אוטומטי. עובדה זו גם מונעת אפשרות של תיקון אינ־פורמציה שנוקבה בשגיאות, על גבי אותו כרטיס או סרט, ויש לנקבה עם התיקונים על גבי כרטיס חדש. הצעד הבא קדימה שבאמצעותו מתגברים על מגבלות אלה, הוא סרט מגנטי. סרט מגנטי נותן אפשרות מהירה ויעילה מאד להזנת אינפורמציה ספרתית למחשב. למרות שהשיטות לרישום מגנטי השתכללו מאד בשנים האחרונות, ממשיכים לחפש שיפורים במעבדות המחקר.

מבחינה פיזית דומה הסרט המגנטי המשמש למחשב, לסרט של רשמקול ביתי. הסרט של המחשב יותר רחב ובעל איכות טובה יותר. רב סרטי המחשבים מורכבים מבסיס פלסטי מצופה בשכבה דקה של חומר מגנטי. מחמרי הציפוי נדרשות שתי תכונות: יכולת להתמגנט בקלות על ידי שדה מגנטי, ויכולת לשמור על המגנטיות בכיוון מסוים עד אשר ממוגנט החומר מחדש, על ידי שדה מגנטי בעל כיוון הפוך.

תאורית הרישום המגנטי

סקירת העקרונות היסודיים של המגנטיות מעלה בזכרוננו, שקטבים מגנטיים דומים נוטים לדחות זה את זה, בעוד שקטבים מנוגדים נמשכים זה לזה. כדי לראות כיצד מאפשרות תופעות בסיסיות אלה רישום מגנטי נתבונן בתרשים שבציור 14—6. הציפוי המגנטי מורכב מחלקיקים זעירים של חומר מגנטי, המוצגים בציור (בהגדלה רבה) כמוטות. התקן הרישום דומה למגנט פרסה שקצותיו קרובים מאד זה לזה. סוג מיוחד זה של מגנט פרסה הוא א ל ק ט ר ו מ ג נ ט. פרוש הדבר שהמגנטיות שלו נקבעת על ידי הזרם החשמלי, הזורם דרך סליל של תיל המלופף סביב החלק האמצעי של הפרסה. הקוטביות נקבעת לפי כיוון הזרימה של הזרם. בנקודה זו יש להצביע על העובדה שהרישום המגנטי תלוי בתנועת הסרט דרך המגנט הרושם, או ה ר א ש כפי שהוא קרוי. ראש טיפוסי מורכב מאלמנט מגנטי אחד או יותר, המוצב, בדיוק רב, בקו אנכי לכיוון תנועת הסרט. בתרשים אנו מניחים כי הסרט נע מימין לשמאל דרך מפער הראש כך שהסבית הראשונה הנרשמת תופיע משמאל.



ציור 14—6. נקודת מפגש, מוגדלת בהרבה, בין מפער ראש לרישום מגנטי וסרט מגנטי, מראה כי כיוון החלקיקים, לפני שהסרט נכנס להשפעת השדה המגנטי של המפער, הוא אקראי. החלקיקים העוזבים את המפער מסודרים בכיוון אחיד והשדה המגנטי שהם יוצרים ניתן לגילוי. הפיכת הזרם בסליל הראש, תגרום למגנוט החלקיקים בכיוון הפוך.

רישום סיפרתי על סרט מגנטי

נניח לרגע כי לפני שהם נכנסים להשפעתו של השדה המגנטי של הראש, מסודרים החלקיקים המגנטיים שבציפוי התחמוצתי של הסרט, באופן אקראי.

נניח גם שהזרם בסליל הראש זורם בכיוון המוצג בתרשים, כלומר הופך את הקצה הימני של הפרסה לקוטב צפוני, ואת הקצה השמאלי לקוטב דרומי.

כאשר כל חלקיק מתקרב לקוטב הראשון (הצפוני), נמשך הקוטב

הדרומי של כל חלקיק אל עבר המיפער. כאשר החלקיקים מתקרבים למיפער הם ערוכים כבר היטב, באופן שקטביהם הדרומיים פונים אל הקוטב הצפוני של הראש. באיזור המפער, הקטבים הצפוניים של החלקיקים מובילים את הקטבים הדרומיים שלהם, הודות להשפעה המשולבת של קטבי הראש. כאשר עוברים החלקיקים את המפער הם מסתובבים כשקטביהם הצפוניים מכוונים לקוטב הדרומי של הראש. כאשר הסרט ממשיך לנוע נערכים החלקיקים כך שהקטבים הדרומיים מובילים והצפוניים עוקבים (בגלל הימשכותם לקוטב הדרומי שהשפעתו עליהם אחרונה). אם הופכים את כיוונו של זרם הראש, הכיוון של החלקיקים משתנה אף הוא. אם הפיכת כיוון הזרם נעשית לסירוגין, יהיו בסרט קוי גבול ברורים בין איזורים של חלקיקים ערוכים בכוונים שונים, או קטביות שונה של מיגנוט.

אם הפיכת כיוון זרם הראש נעשית באופן מחזורי, יכלול הסרט איזורים מתחלפים של חלקיקים מקוטבים בכיוונים הפוכים, המהווים „תמונה" מגנטית של זרם הראש. תבנית זו אינה נראית לעין אדם, אך אפשר לקרא אותה באופן חשמלי.

קריאת נתונים רשומים בצורה מגנטית

כדי לקרוא את האינפורמציה המקורית מועבר הסרט שוב דרך מפער הראש. כאן עלינו להיזכר בכלל יסודי אחר של מגנטיות. למגנט יש שדה מגנטי נלווה המיוצג על ידי קוים היוצאים מקוטב אחד ונכנסים לקוטב האחר. בכל פעם ששדה מגנטי כזה פוגע במוליך, מושרה זרם במוליך.

באזורים הממוגנטים של הסרט ישנם מגנטים זעירים רבים שכי־וניהם זהים. השדות המגנטיים של כל מגנט מתחברים ויוצרים שדה כולל חזק יחסית. כאשר עוברים שדות כאלה דרך מפער הראש על ידי תנועת הסרט, מושרה זרם בסליל הראש, בכל פעם שהשדה המגנטי מתהפך. על ידי הגברה מתאימה אפשר ליצור מחדש, בדיוק, את זרם הרישום המקורי.

באופן זה איחסנו ושיחזרנו אינפורמציה דו־מצבית ומלאנו איפוא, את הדרישות של מערכת אחסון ספרתית. למזלנו, החלקיקים המגנטיים שעל הסרט הם זעירים מאד ואפשר, לכן, לאחסן אלפי סביות של אינ־פורמציה באינצ' מרובע אחד של סרט.

מתכונות לרישום מגנטי

למרות שסרט מגנטי יעיל ומהיר פי כמה הן מסרט מנוקב והן מכרטיסים מנוקבים, השימוש בו כרוך בסיבוכים רבים. עד עתה בחנו רק קטע קטן של סרט, בסמיכות לראש קורא־כותב אחד. כדי שאפשר יהיה לממש את יתרונות הסרט, צריך ציוד הסרטים להיות מסוגל לטפל ברצועות ארוכות של סרט, בנות 2500 רגל או יותר.

באופן רגיל נכתבים תוים על סרט על ידי רישום הסביות שלהם אנכית לסרט בערוצים או מסלולים מקבילים. לכל מסלול יש ראש ומגברים אלקטרוניים לכתיבה וקריאה. במרבית מערכות הסרטים יש 7 או 8 מסלולים, אולם יש מערכות המפעילות סרטים בני 16 מסלולים. מבין הרחבים התקניים של סרט מגנטי, הנפוצים ביותר הם ½, ¾ ו־1 אינצ׳. שאר הרחבים משמשים באופן בלעדי לעבודות של 16 מסלולים.

השיטות הטיפוסיות לרישום נתונים ספרתיים על סרט מגנטי מוצגות בציור 15—6. בתרשים מופיעים ששה פרקי זמן, מסופררים מ־0 עד 5. בכל פרק זמן מופיעה סבית של נתון ספרתי. העקומות שמתחת לשורת הנתונים מראות שלש דרכים שונות לרישום אינפורמציה ספרתית.

העקומה הראשונה מראה כי זרם הראש מתחיל בערך נמוך. עם הגיע פרק זמן 0, אשר בעיתו צריך לרשום סבית 1, נמסרת לראש פעימה של זרם (חיובית בדוגמה זו), לזמן קצר ביותר. פעימה זו של 1 נפסקת לפני שמגיע פרק זמן 1. מכיון שהנתון שיש לאחסן בפרק זמן 1, מכיל 0, לא תימסר לראש פעימה והוא ישאר בערכו הנמוך. בפרקי זמן 2 ו־3, יש לרשום סביות 1 ולכן נוצרות פעימות זרם. בפרקי זמן 4 ו־5 מכילים הנתונים סביות 0, ולכן מופסק זרם הראש. בשיטה זו השתמשנו במצב אחד כדי לציין 0 ובמצב אחר כדי לציין 1. מכיון שהערך הנמוך, המשמש לציון 0, יכול להיות אפס זרם, קרויה שיטת כתיבה זו חזרה לאפס (return to zero או: RZ).

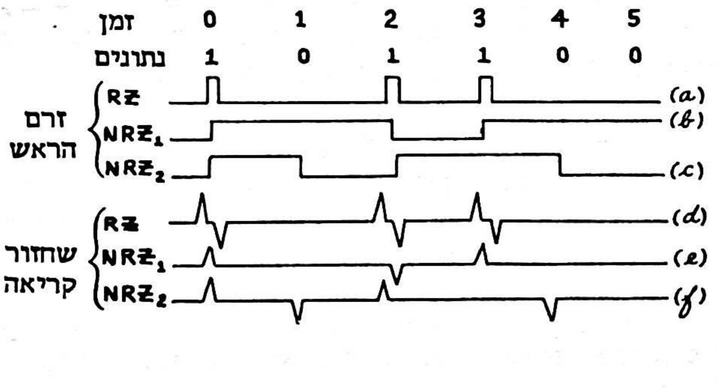
כאשר משחזרים (קוראים) רישום ספרתי שנעשה בשיטה שתוארה לעיל, מתבצע תהליך הנקרא הבדלה (differentiation), שהתוצאות שלו מוצגות בעקום d של ציור 15—6. שימו לב כי לגבי כל ספרה מקורית מתרחשות בשיטת RZ, שתי פעימות, פעימה חיובית המתאימה מבחינת הזמן לעלית פעימה לצורך רישום סבית 1, ופעימה שלילית המתאימה

לירידה של הפעימה. במחשבים המשתמשים בשיטת כתיבה זאת סותרים את הפעימות השליליות. פעולת השיחזור נעשית על־ידי מעגלים מיוחדים הבוחנים את הפלט של הראש, כלומר את קיומן או היעדרן של פעימות חשמליות בפרקי הזמן המתאימים, כדי לקבוע את תוכן הנתונים המ־אוחסנים.

יעילות הרישום

מדיוננו הקודם ביעילות איחסון אינפורמציה, ברור ששיטת החזרה לאפס כרוכה בבזבוז. מדוע ליצור פעימות שליליות אם אין משתמשים בהן אחר כך? האם אפשר בלעדיהן? התשובה היא שבמערכות רישום מגנטיות, בהם דרושה יעילות מכסימלית, אין משתמשים בהן.

עקום b בציור 15—6 מראה שיטה של רישום מגנטי ללא־חזרה־לאפס (non return to zero—NRZ). בשיטה זו, סבית של 1 מצוינת על ידי ש י נ ו י וסבית 0 על ידי א י ־ ש י נ ו י. כאשר משחזרים רישום NRZ 1 מתקבלים האותות המתוארים בעקום e של ציור 15—6. שימו לב כי לגבי כל סבית 1 מתרחשת פעימה אחת. במקום לזרוק כל סבית שניה הופכים המעגלים האלקטרוניים של המערכת את הפעימות השליליות



ציור 15—6. שלש השיטות הנפוצות ביותר לרישום ספרתי של נתון על סרט מגנטי. ב (a) פעימה מצינת 1 והיעדר פעימה מציין 0. ב (b) שינוי מציין 1 ואי שינוי מיצג 0. ב (c) שינוי מיצג שוני בין נתונים סמוכים (הקודם והנוכחי) ואי שינוי מייצג זהות בין שני נתונים סמוכים. השיטות המתוארות ב (b) ו־ (c) יותר יעילות.

לחיוביות, ומשלבים את שתיהם לאותות פעימה חיובית. בדרך זו מתקבל אותו סוג של פלט שהתקבל בשיטת RZ, אחרי הרחקת הפעימות השליליות המיותרות. עקום c בציור מראה נוסח אחר של שיטת NRZ בה השינוי מציין שינוי בנתון כלומר מעבר ממצב למצב. אי שינוי במקרה זה פירושו אי שינוי בנתונים.

שיטת RZ לעומת שיטת NRZ

היתרונות של שיטת הכתיבה ללא־חזרה־לאפס אינם מובנים מאליהם. נוכחנו קודם לכן שהחלקיקים המגנטיים מאד זעירים, וכי הודות לתכונתם זו אפשר לרשום נתונים על סרט, בצפיפות רבה. אף על פי כן ישנם גורמים אחרים התורמים להגברת הצפיפות במערכת סרטים נתונה. גורמים אלה משפיעים על מספר השינויים שאפשר לרשום בבטחון על גבי אינצ׳ אחד של סרט. שימו לב כי בעקום (a) נזקקנו לששה שינויים כדי לציין 3 סביות 1 ו־3 סביות 0. לעומת זאת, בשתי הדוגמאות של שיטת NRZ נחוצים רק שלושה שינויים. שיטת NRZ לכן, יותר יעילה, מנקודת ראות של צפיפות אחסון נתונים.

משתמשים בשיטת NRZ לעיתים קרובות אבל ללא כמות זרם של אפס. ראינו כי אחסון ספרתי מושג בצורה הטובה ביותר, בהתקנים דו־מצביים אשר שני המצבים שלהם מובדלים זה מזה ככל האפשר. התוצאות תהינה, איפוא, מהימנות יותר אם נביא את הסרט למצב רוויה (מסירת מירב המגנוט האפשרי) בכיוון אחד או בכיוון ההפוך על ידי העברת זרם רוויה דרך הראש, בכיוון אחד או בכיוון האחר. הרישום בשיטת NRZ מבוצע על ידי הפיכת הזרם כאשר צריך לרשום 1, או כאשר יש שוני בין נתונים סמוכים, בהתאם לנוסחי השיטה.

צפיפות הנתונים על גבי סרט

הבה נבחן את היכולת של קטע טיפוסי של סרט מגנטי לאחסן נתונים. אחד הסרטים הנפוצים הוא זה המכיל 7 מסלולים. הסביות נרשמות בו (בשיטת NRZ) בצפיפות של 200 סביות במסלול שאורכו אינצ׳ אחד. סליל טיפוסי של סרט שקוטרו $10\frac{1}{2}$ אינצ׳ יכול להכיל, אם הנתונים רשומים בו בצפיפות זו, יותר מ־40 מיליון סביות של אינפורמציה. ישנם סרטים אחרים הנמצאים בשימוש במחשבי ענק, שצפיפות הרישום

בהם מגיעה ל־1511 תוים לאינצ׳. היחסים בין צפיפות הסביות (במסלול בודד), מהירות הסרט ותדירות הסביות (תדירות הכתיבה או הקריאה) מבוטאים בנוסחה הפשוטה הבאה:

$$f=ds$$

f היא התדירות המבוטאת בסביות לשניה, d היא הצפיפות המבוטאת בסביות לאינצ׳, s היא מהירות המבוטאת באינצ׳ לשניה. מכיון שהנתונים נרשמים לרוחב הסרט (אנכית לכיוון התנועה של הסרט), שווה תדירות הסביות לקצב התוים.

מהירויות סרטים הרווחות ביותר, היום, נמצאות בתחום שבין 30 ל־150 אינצ׳ים לשניה. אם כל אינצ׳ מכיל 200 תוים והסרט נע במהירות של 75 אינצ׳ לשניה, קצב התוים הוא 15,000 תוים לשניה. ישנן מערכות הרושמות שני תוים לרוחב הסרט בפרק זמן אחד. שימוש בטכניקה זו עם מהירות־סרט בת 150 אינצ׳ים לשניה וצפיפות של 300 סביות לאינצ׳ נותנים קצב תוים (קריאה או כתיבה) של 90,000 תוים לשניה. ככל שנצליח להגביר את צפיפות הסביות, כן תגדל יעילות אחסון הנתונים.

העלאת נתונים על סרט מגנטי

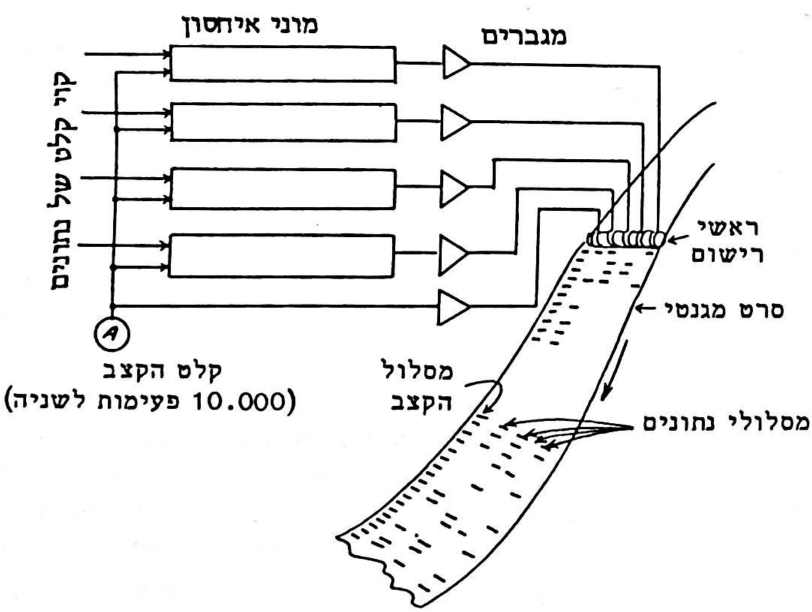
כדי להמחיש את תהליך הרישום של אינפורמציה ספרתית נבחן נא בעיה טיפוסית. יש לנו נתונים מאוחסנים במונה איחסון מהיר. המונה יוצר פעימות מתח המגדירות תוים רצופים, בכל פעם שנמסרת פעימה לתחנה (a) (ראה ציור 16—6). כמו בכל מערכת עיבוד נתונים דרוש, גם כאן, מקור לקציבת מתחים, ש ע ו ן. במהירות הסרט שבחרנו (100 אינצ׳ לשניה), דרושה לנו, כדי לרשום על הסרט בצפיפות של 100 תוים לאינצ׳, תדירות קצובה של 10,000 פעימות לשניה (100×100). אנו מניחים כי הסרט נע במהירות קבועה ולכן, קצב הפעימות קובע את דחיסות הנתונים.

כמקור קצב משמש מתנד (oscillator), כדי להבטיח שאותו קצב יופעל בעת קריאת (שיחזור) האינפורמציה הרשומה, אנו רושמים את הפעימות הקצובות במסלול רישום נפרד. מסלול הקצב מקבל סבית 1 עם כל פרק זמן. אותות דומים, התלויים באינפורמציה שיש לאחסן, נשלחים על ידי המונה בכל פעם שמתקבלת פעימה קצובה. באופן זה „חש״ הראש הרושם, 10,000 פעם במשך שניה, צרור סמולטני של פעימות (או לפחות פעימה אחת — פעימת הקצב), שהרכבן מגדיר תו אחד.

מעגלי המגברים, המוצגים בציור 16—6, מקבלים את פעימות המונים, ויוצרים פעימות זרם הפוכות, כדי לכתוב סימני 1 או 0 במקומות המתאימים.

גילוי שגיאות ברישום מגנטי

רישום מגנטי ספרתי נעשה לטכניקה כה מדויקת, עד כי במערכות המתוכננות בזהירות, השגיאות הן נדירות. כדי להבטיח מהימנות נוספת של רישומים מגנטיים ספרתיים, משתמשים בכמה שיטות לגילוי שגיאות. אחת השיטות הנפוצות היא בדיקת הערך (parity) של כל תו רשום. נניח כי השתמשנו בסרט פגום לרישום אינפורמציה ספרתית מסוימת, המסומלת



ציור 16—6. אינפורמציה ספרתית יוצאת ממוני האחסון בתדירות (מספר תוים לשניה) קצובה המתאימה לרישום כמות נכונה של תוים לאינצ׳ על הסרט המגנטי. קצב של 10,000 פעימות לשניה עם מהירות סרט של 100 אינצ׳ לשניה ייצרו צפיפות דחיסה של 100 תוים לאינצ׳.

בצופן עשרוני על בסיס בינרי. הפגם מתבטא בנקודה בגודל ראש סיכה שאינה מכילה חומר תחמוצתי. נקודה זו עברה מתחת לראש, השייך לסבית החשובה ביותר של התו, בדיוק כאשר צריך היה לרשום 1 בסבית זו. כתוצאה מהפגם נשמטת סבית מסוימת זו. תופעה זו נקראת הישמטות (drop out). ברב המערכות עלולה תופעה זו להתרחש אחת למליוני סביות. על כל פנים אם קורה הישמטות, התו הנוגע בדבר עלול להיות שגוי.

סביות ערך (parity bits) הן אמצעי פשוט להבטחת דיוק הרישום. השיטה של בדיקת הערך מושתתת על הנחה (המבוססת על ניתוח סטטיסטי), כי בסרט בעל איכות טובה לא יהיה יותר מפגם אחד בכל אזור רוחבי המשמש לרישום טור אחד של סביות (תו אחד).

בדיקת ערך

נניח כי אנו רושמים על סרט תוים בני 6 סביות, מסומלים לפי צופן עשרוני על בסיס בינרי. הרישום נעשה על ידי הצבת שש סביות לכל תו, בששה מסלולים.

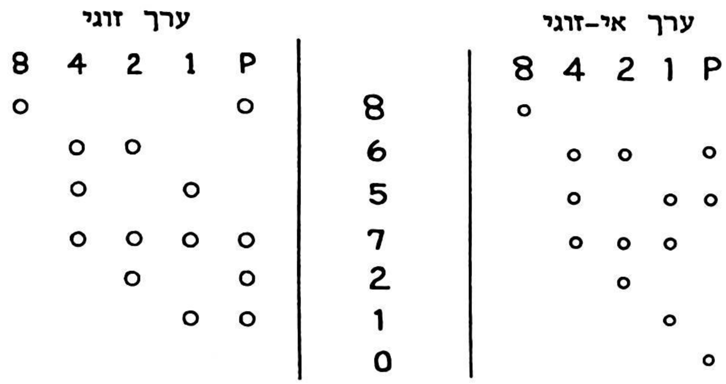
לפני ששש הסביות של כל תו מועברות למגברי הרישום, „סופר" מחולל ערך (parity generator), במהירות ובאורח אוטומטי, את מספר סביות ה־1 בתו זה. אם יתברר כי התו מכיל מספר זוגי של סביות 1, גורם מחולל הערך לרישום סבית 1 במסלול שביעי, המיועד לסבית ערך אי זוגית (odd parity bit). אם התו מכיל מספר אי־זוגי של סביות לא נרשמת סבית ערך.

מספרים טיפוסיים וסביות הערך שלהן מוצגים בציור 17—6. כאשר נקראים הנתונים סורק מעגל ערך אחר כל תו וסופר את מספר סביות ה־1 שלו. אם כל תו (כולל סבית הערך) מכיל מספר אי־זוגי של סביות 1, מניחים כי לא נוספו ולא נשמטו סביות. אם מתגלה תו עם מספר זוגי של סביות 1 מניחים כי קרתה שגיאה.

אפשר לנקוט בסוגים שונים של פעולות כאשר מתגלה פגם בערך של תו כל שהוא. תכניות אחדות עוצרות את המחשב, אחרות גורמות לקריאה חוזרת של הנתון ולעצירה אם השגיאה חוזרת, אחרות מוסיפות לנתון דגל אזהרה, מעבירות אותו ליעדו וממשיכות בתהליך הקריאה.

במערכות מסוימות יוצרים, בנוסף לסבית ערך אנכית, גם סבית ערך אפקית. במקרה זה נספרות סביות 1 בכל מסלול ונרשמות סביות

ערך במרווחים סדירים. על ידי צירוף של בדיקות ערך אנכיות ואופקיות אפשר לבודד ואף לתקן הישמטות של סבית.

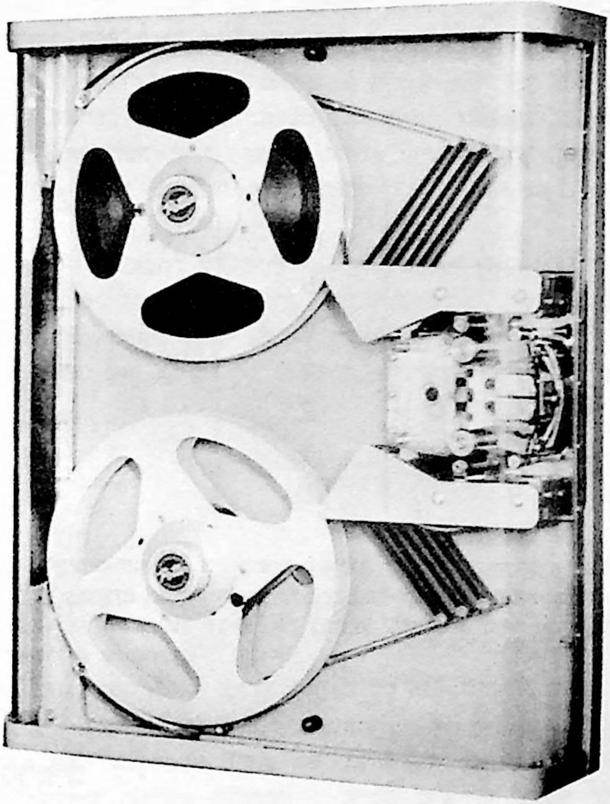


ציור 17—6. לעיתים קרובות משתמשים בסביות ערך כדי להבטיח דיוק של נתונים ספרתיים. ברוב המקרים האפשרות של מציאות כמה שגיאות יחד בתו בודד היא נדירה. לכן, הוספה או אי הוספה של סבית אחת בכל תו מאפשרת לאחר מכן למעגלי בדיקה אלקטרוניים לגלות שגיאות.

כונני סרטים

ראינו בקטע הקודם כי אפשר להזין נתונים למחשב בקצב של 90,000 תוים לשניה. בקצב כזה עלול הזיכרון הפנימי של המחשב להתמלא עד מהרה ויש לעצור את זרם הנתונים, בעת שהמחשב מעבד את האינ־פורמציה. כדי להפחית למיזער את הזמן המבוזבז ולהביא את המחשב לרמה אופטימלית של יעילות, הכרחי שמכונות המטפלות בסרט מגנטי, יהיו מסוגלות להתניע את הסרט ולעצור אותו במהירות.

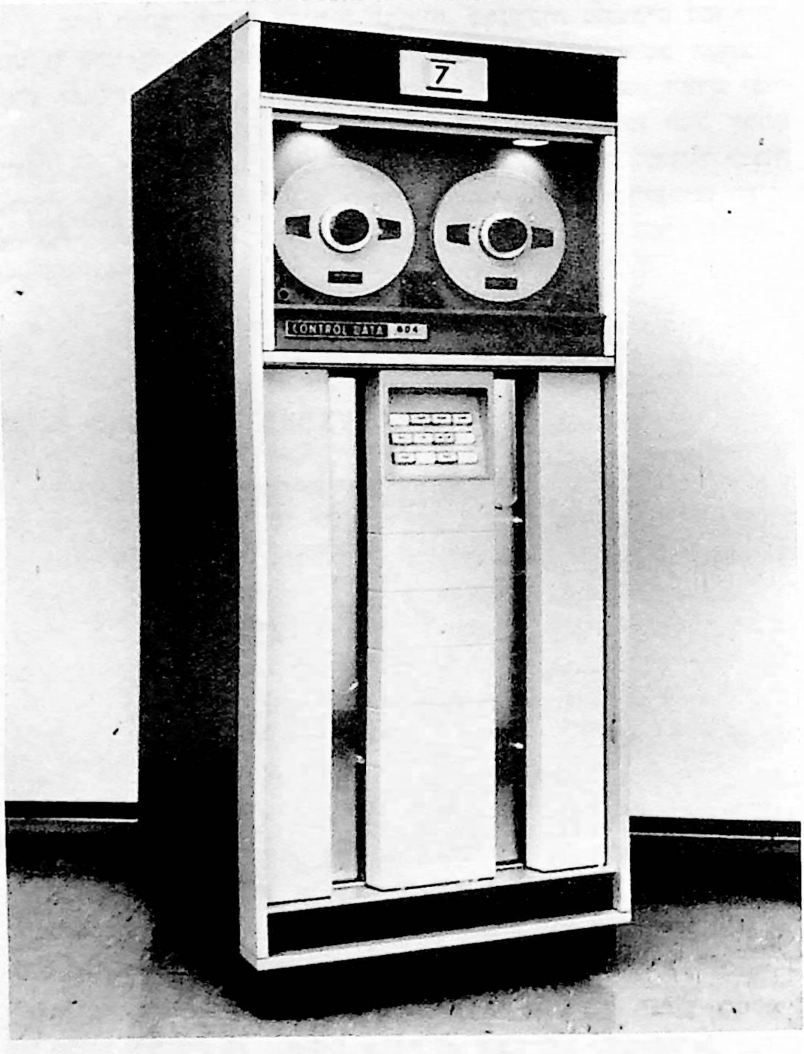
התנעה מהירה חשובה, מפני שיש לצמצם ככל האפשר השהיות בהגשת אינפורמציה חדשה למחשב, כאשר הוא מבקש אותה. התנעות ועצירות מהירות גם יחד דרושות להגדלת יעילות דחיסת נתונים על הסרט. יש להשאיר רווחים בין חטיבות של נתונים כדי לאפשר עצירה והתנעה של הסרט, אך יחד עם זה, אפשר להצר את הרווחים (ולהגדיל על ידי כך את יעילות הדחיסה) אם המכונה המטפלת בסרט עוצרת את הסרט ומתניעה אותו במהירות.



ציור 18—6. כונן סרט מגנטי טיפוסי. ראשי הקריאה והכתיבה נמצאים בצד הימני במרכז. זרועות המתיחות (עליונה ותחתונה) חשות במתח ומפעילות את מנועי גלגלי הסרט, מנועים אלה מכניסים פנימה או משחררים החוצה סרט, כדי לשמור על מתיחות בגבולות בטוחים למרות ההתנעה והעצירה המהירות הנדרשות לעבודת המחשב.

ציור 18—6 מראה כונן סרט מגנטי טפוסי לשימוש עם מחשב. כדי להשיג התנעה ועצירה מהירות, נלחץ הסרט כלפי כננים מסתובבים, על ידי גלילי לחץ המופעלים באורח מגנטי (על ידי סילונית — solenoid).

הבה נבחן את הבעיות המתעוררות עקב סוג זה של פעולה. בגלל מהירות התאוצה והתאוטה של הסרט והמסה והאינרציה המוגבלת של סלילי הסרט, משתמשים במערכות סרבו (servo) משוכללות כדי לשמר על מתיחות קבועה, באופן יחסי, של הסרט במשך מחזור התנעה ועצירה.



ציור 19—6. בכונן סרט מגנטי מהיר משתמשים כדי לשמור על מתיחות הסרט, בתאי ריק במקום זרועות מתיחות. הכונן המוצג מאפשר התנעה, עצירה והפיכת הסרט במשך כמה אלפיות של שניה כאשר הסרט נע במהירות של 75 אינצ׳ לשניה.

המכונה המתוארת בציור 18—6 מסוגלת להתניע את הסרט תוך 3 אלפיות השניה ולעצרו תוך 15 מליונית השניה כאשר הסרט נע במהירות של 150 אינצ׳ לשניה.

סרט מגנטי משמש לעיתים קרובות, במערכות מחשבים ספרתיים, כהתקן פלט ביניים. הודות למהירותו הגבוהה, זמן המחשב המתבזבז בעת העברת הפלט לסרט, הוא מיזערי. למרבה הצער, אין האדם יכול לפענח את האינפורמציה שעל הסרט בכוחות עצמו, ולכן יכול הסרט לשמש רק כאמצעי אחסון זמני בשביל התקן פלט אחר, המסוגל ליצור פלט שימושי לאדם. על כל פנים את הפעולה האחרונה (העברת האינ־פורמציה שעל הסרט להתקן פלט סופי) אפשר לבצע מחוץ למחשב, ולשחרר את המחשב לטפול בבעיות אחרות.

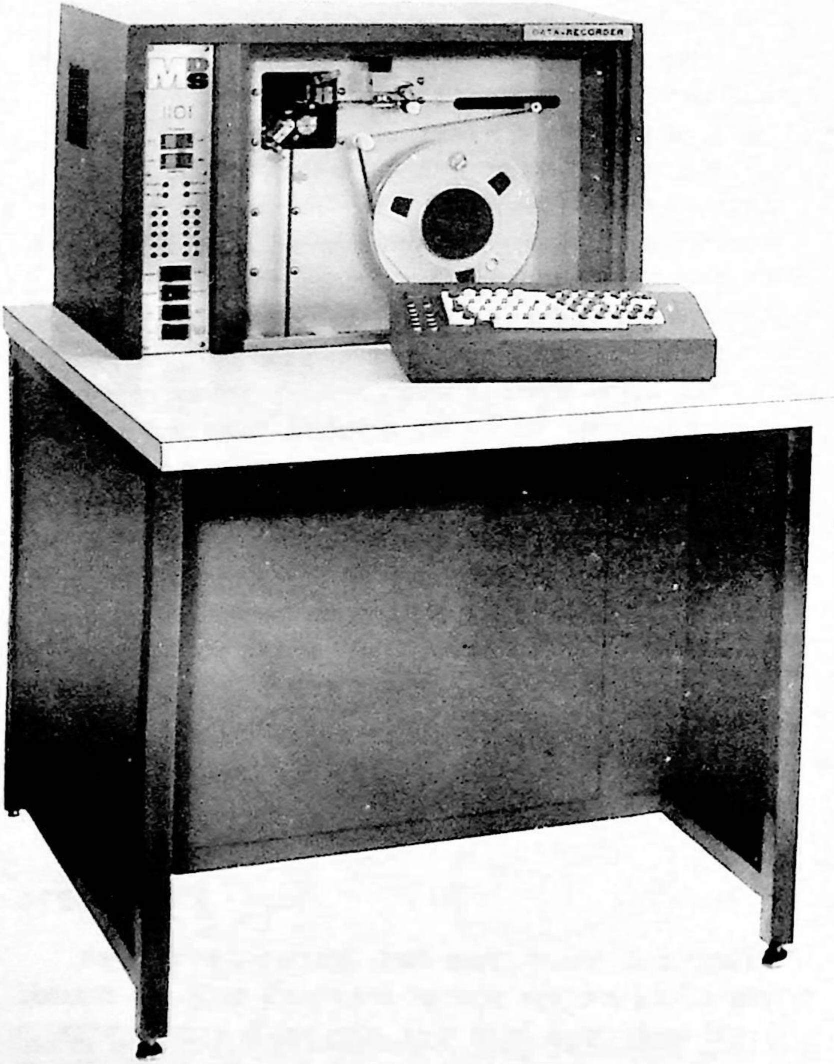
הכנת סרט מגנטי כאמצעי קלט

להזנת המחשב בנתוני קלט הרשומים על סרט מגנטי קודמות במרבית המקרים שתי פעולות. הראשונה היא ניקוב נתוני הקלט בכרטיס או בסרט ניר, והשניה היא המרת האינפורמציה המנוקבת לאינפורמציה רשומה על סרט. ההמרה יכולה להיעשות בשתי דרכים, באמצעות ציוד המרה מיוחד, או באמצעות מחשב. בגופים גדולים רבים מורכבת המערכת לעיבוד נתונים ממחשב מרכזי גדול, מחשב נלווה קטן וציוד עזר מסוגים שונים. במערכות כאלה ממלא המחשב הקטן תיפקודים של קלט־פלט בשביל המחשב הגדול. דוגמה אפינית לתיפקוד קלט כזה היא המרת כרטיסים מנוקבים לסרט מגנטי אשר ישמש לאחר מכן קלט למחשב המרכזי. דוגמה אפינית לתיפקוד פלט, היא הדפסת סרט מגנטי המכיל אינפורמצית פלט מהעיבוד במחשב המרכזי.

אנו רואים, איפוא, כי כדי להעלות נתוני קלט על סרט מגנטי דרושים שני תהליכים שונים, שהראשון שבהם הוא איטי. כדי לזרז את תהליך הכנת הסרט המגנטי נבנתה מכונה, אשר באמצעותה אפשר לפסוח על התיווך של כרטיסים מנוקבים או סרט ניר מנוקב. המפעיל של מכונה זו רושם את הנתונים המקוריים, באמצעות לוח מקשים, ישירות על סרט מגנטי. (ראה ציור 20—6).

מהירות הרישום של הנתונים על הסרט מושגת, כפי שניתן לצפות, עקב השימוש בהתקנים אלקטרוניים ומגנטיים. למכונה זיכרון קטן לאחסון תכנית הרישום ומעגלים אלקטרוניים לפיקוח ובקורת על הרישום.

הכנת קלט סרטים מגנטיים באמצעות ציוד זה, שהוא יקר הרבה יותר מהציוד המקובל, מתאימה למערכות עיבוד נתונים גדולות במיוחד, הן בגלל מחירה של המערכת והן בגלל כושר הקליטה הגבוה שלה.



ציור 20—6. מכונה להעלאת נתונים על סרט מגנטי באופן ידני. באמצעות מכונה זו אפשר לותר על שלב התיווך של ניקוב הנתונים בכרטיסים. המפעיל לוחץ על המקשים כמו במכונת ניקוב אך הנתונים נרשמים ישירות על סרט מגנטי (NCR-735) **שהוא זהה** לדגם MOHAWK 1101.

הדפסה מהירה

אחת מהצורות הנפוצות ביותר של התקני פלט היא מדפסת ספרתית מהירה. הצורה המשוכללת ביותר של מדפסת מחשב היא מדפסת שורה. עם קלט מתאים (שהוא פלט מהמחשב או מסרט מגנטי) יכולה מדפסת להדפיס כמות שות־ערך לדף זה של הספר, בפחות משתי שניות!

במדפסות שורה, מועברים נתונים בכמות של שורה לזיכרון המדפסת, בתחילתו של כל מחזור הדפסה. מדפסות רגילות המיוצרות על ידי כמה יצרנים מסוגלות להדפיס 120 תוים לשורה, בקצב של 1,000 שורות לדקה. בדרך כלל, מהירות ההדפסה של שורות המכילות אינפורמציה מספרית בלבד גדולה מזו של שורות המכילות אינפורמציה אלפנומרית. כאשר המדפסת קשורה למחשב, היא מקבלת את הפלט שלה ישירות מהמחשב. בהפעלתה באורח זה עלולים או המדפסת או המחשב להגביל את מהירות הפלט. מטבע הדברים, מהיר המחשב מן המדפסת. הפער בין מהירות המחשב למהירות המדפסת, מכתיב שימוש בסרט מגנטי כזיכרון ביניים. כאשר משתמשים בסרט מגנטי לאיחסון ביניים, מעביר המחשב את נתוני הפלט לסרט המגנטי, בחטיבות, כשכל חטיבה מיועדת לשורה אחת של הדפסה. העברת נתונים באורח זה אינה גורמת לבזבוז זמן מחשב. סרט ערוך להדפסה מעביר נתונים לזיכרון המדפסת בצרורות. בכל פעם שהמדפסת משלימה מחזור הדפסה, היא „מבקשת" נתונים נוספים מהסרט המגנטי. הכונן מתניע את הסרט, קורא ומעביר לזיכרון חטיבה נוספת של נתונים ועוצר. המדפסת משלימה שורה זו וקוראת לחטיבה נוספת של נתונים.

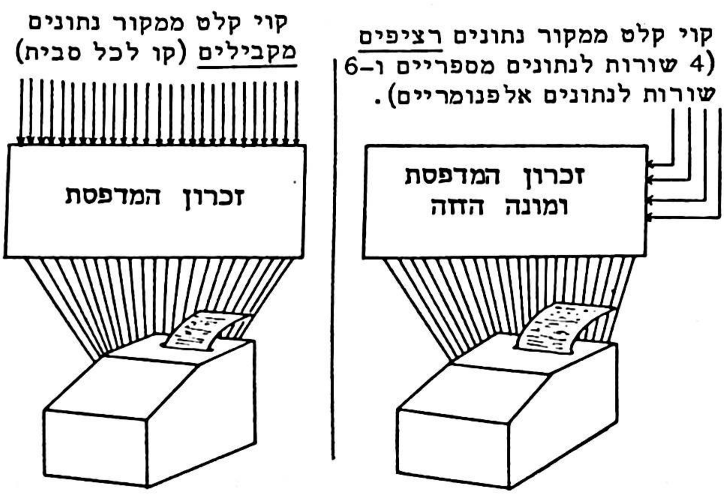
מדפסות שורה

ראינו בדיונים הקודמים, כיצד אפשר להגדיר תוים אלפנומריים באמצעות שש סביות אינפורמציה. המדפסות המהירות מנצלות אפשרות זו. זיכרון המדפסת (ל־120 תוים) צריך להיות מסוגל לאחסן 120×6 או 720 סביות של אינפורמציה. העברת האינפורמציה אליו יכולה להיעשות בשתי דרכים המתוארות בציור 21—6. הדרך הראשונה היא העברת תו אחר תו. בדרך זו מועברים התוים מהמקור למדפסת באמצעות ששה תילים (תיל לכל סבית). כדי למלא את זיכרון המדפסת

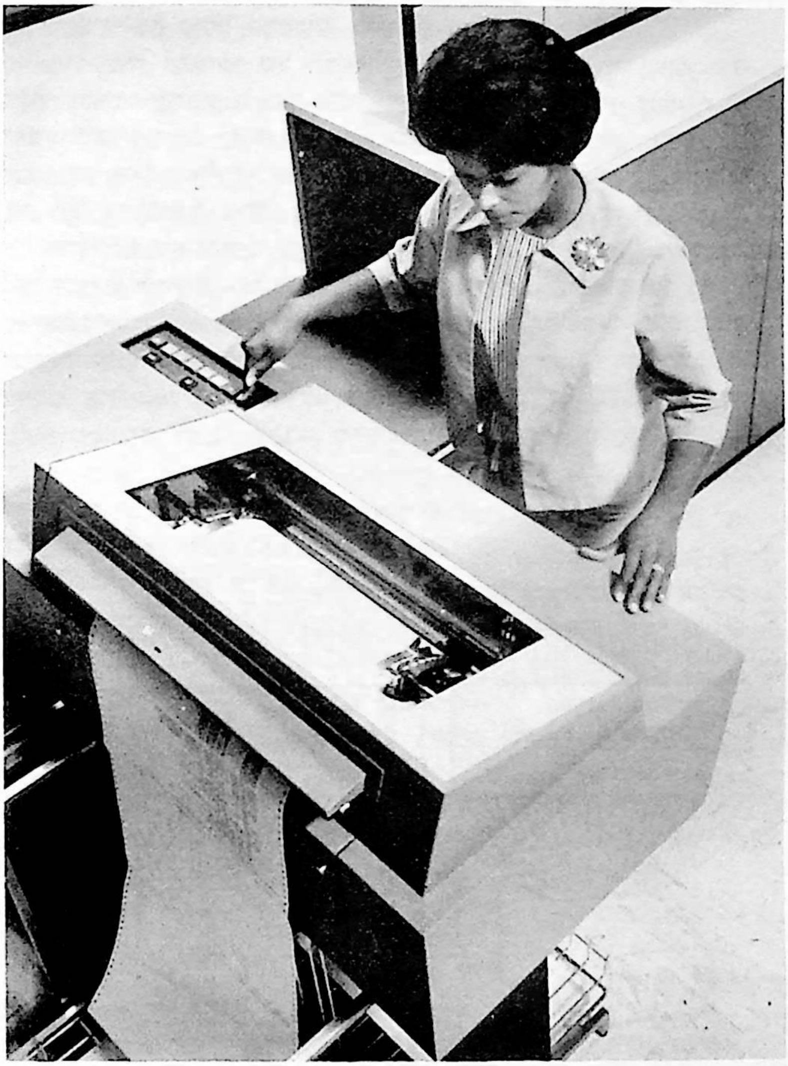
נדרשים, איפוא, 120 צעדים. בדרך השניה מועברות כל הסביות בבת אחת מהמקור למדפסת, או ממאגר משני הצובר את הנתונים בזה אחר זה ומעביר את כולם במקביל, לזיכרון המדפסת.

המנגנון הבסיסי של מדפסת שורה היא תוף (ראה ציור 22—6). התוף מורכב מרצועות של סדר (סימני דפוס) שמספרן כמספר התווים האפשריים בשורה. הוא מסתובב ללא הפסק במהירות מתאימה. לכל רצועת סימנים מתלווה פטיש מהיר המופעל באופן מגנטי על ידי סילונית (solenoid). הפטיש מוצב מול הרצועה והנייר עובר בין שניהם.

לציר התוף קשורה מערכת גלגלי אותות, היוצרים סמלים בהתאם לתוים שיש להדפיס. גלאים החשים את הסמלים הנוצרים על ידי גלגלי האותות יוצרים סמלים חשמליים המתאימים לסימנים המופיעים על רצועות התוף, מול כל פטיש, בכל רגע נתון. 120 מעגלי השואה ספרתיים, משוים את סמלי התוים עם הסמלים החשמליים של סימני הדפוס, ומאפשרים על ידי כך לקבוע בדיוק את מועד מכת הפטיש לכל עמודה



ציור 21—6. מדפסות שורה מהירות צריכות להכיל זיכרון, שגודלו תואם את מספר התוים האפשריים בשורת הדפסה אחת. הזנת מערכות־זיכרון כאלה יכולה להיעשות במקביל (כל הנתונים של השורה בבת אחת) או בצעדים. צורת ההזנה תלויה במהירות הדרושה ובשימוש. הזנה בצעדים דורשת פחות חיבורים בין המקור והמדפסת אך מערכת הזיכרון של מדפסת כזאת יותר מורכבת.



ציור 22—6. מדפסות שורה מהירות מהטיפוס המוצג, מסוגלות להדפיס 1100—750 שורות לדקה. (בדרך כלל, מהירות ההדפסה גבוהה יותר כאשר השורות מכילות אינפורמציה מספרית בלבד ונמוכה יותר כאשר הן מכילות אינפורמציה אלפנומרית) הזנת הנתונים למדפסת נעשית בשתי דרכים, ישירות מהמחשב או דרך אמצעי אחסון מתוך כמו סרט מגנטי.

(תו). הפטישים נחים עד שהסימנים המתאימים מופיעים על פני התוף. ברגע זה הם מופעלים, על ידי מעגלים אלקטרוניים, וגורמים להטבעת הסימנים המבוקשים על הניר. מחזור אחד של התוף מאפשר מסירת כל הסימנים המבוקשים לעמודות ההדפסה המתאימות, והשורה מודפסת. במשך הפעולה שתוארה לעיל נמצא הניר במצב מנוחה. כאשר נשלם מחזור הדפסה מתרחשים שני דברים. המגנון המזין את הניר מופעל ולמקור הנתונים נמסרת הודעה כי אפשר לטעון לזיכרון המדפסת אינפורמציה חדשה. מכיון שהזנת הניר היא תהליך מיכני, עולה משך הזנת הניר על טעינת הזיכרון. כאשר שתי פעולות אלה מסתימות, מופעל מחזור הדפסה נוסף.

עריכת ההדפסה

יצירת פלט מודפס כרוכה בסיבוכים רבים. ברב המקרים יש להדפיס את הנתונים על הניר בעמודות נבחרות. לעיתים קרובות יש צורך לפסוח על שורות ואז רק מנגנון הזנת הניר מופעל. בשימושים מסוימים מדפיסים נתונים זהים במקומות אחדים על גבי הניר. הוראות עריכה כאלה יכולות להופיע בצמידות לנתוני הקלט או בזיכרון עזר. הדבר תלוי בסוג הציוד שבשימוש ובדרישות הבעיה. ציוד הדפסה־במקביל מהסוג שתואר, אפיני לרב המערכות המהירות לעיבוד נתונים (ראה ציור 22—6).

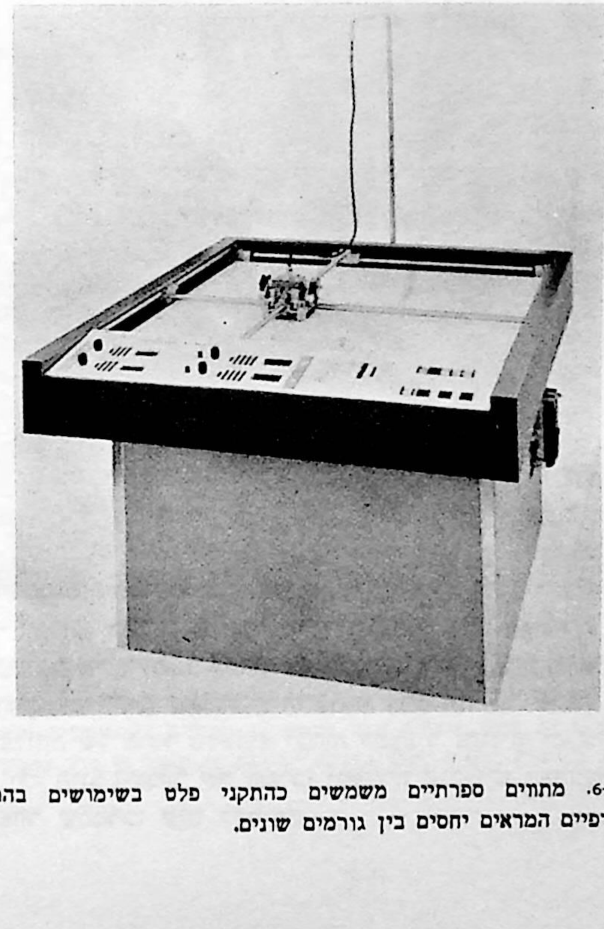
שגור נתונים

העברת נתונים למחשב הוא השלב האחרון של הקלט לפני קריאת הנתונים פנימה. כאשר מקורות הנתונים ויעדי הפלט מרוחקים מהמחשב, מתעוררת בעיה של העברת אינפורמציה בשני הכיוונים. לעיתים קרובות מעבירים נתונים ממקום למקום באמצעות מעגלים חשמליים או אלקט־רוניים — תילים, כבלים או גלי מיקרו. יצרני ציוד תקשורת מספקים מעגלי תקשורת מיוחדים להעברת נתונים. עם ציוד המרה מתאים אפשר לשגר נתונים למרחקים באמצעות הרשתות הרגילות של טלפון וטלגרף. לדוגמה, שלוחה של מוסד כלשהוא יכולה להעביר נתונים למרכז המוסד, פשוט על ידי חיוג המספר של המרכז והעברת הנתונים באמצעות התקן מיוחד, לאחר שהמרכז ענה לקריאה.

מעגלי המרה ושיגור מסווגים לפי הקיבולת שלהם כלומר, קצב העברת הנתונים. טלטיפ (Teletype) הוא בעל קיבולת נמוכה, טלפון — בינונית וגלי מיקרו בעלי קבולת גבוהה.

התקני השיגור והקבלה המצויים מסוגלים לטפל בכל צורות הקלט והפלט המקובלות. התקן כזה צריך להיות מסוגל לבצע שלוש פעולות ראשיות: לתרגם את הנתונים המקוריים לצורת קלט מתאימה למחשב (כרטיסים מנוקבים, סרט נייר סרט מגנטי וכד׳), להמיר אותם לסמלים חשמליים המתאימים לשיגור למרחקים ולתרגם אותם חזרה לצורה המתאימה להזנת המחשב (שוב כרטיסים, סרט נייר, סרט מגנטי וכד׳). כדי לתת מושג על קצב השיגור, ניתן כמה דוגמאות.

שיגור נתונים של סרט נייר באמצעות טלפון יכול להיעשות בקצב של 100 תוים לשניה. שיגור נתונים של כרטיסים מנוקבים יכולה להיעשות



ציור 23—6. מתווים ספרתיים משמשים כהתקני פלט בשימושים בהם נזקקים לבטויים גרפיים המראים יחסים בין גורמים שונים.

בקצב של שלושה עד חמישה כרטיסים לדקה בטלגרף ואחד עשר כרטיסים לדקה בטלפון. מעגל טלפון אחד יכול לטפל בארבע יחידות שיגור באותו זמן, כך שאפשר להעביר 44 כרטיסים בדקה. נתונים של סרט מגנטי אפשר לשגר באמצעות גלי מיקרו בקצב של 60,000 תוים לשניה.

טכניקות שיגור בעלות מהירות גבוהה והתקני בקרה מיוחדים מאפשרים תקשורת ישירה בין זכרונות פנימיים של שני מחשבים. מכיון שהמהירות של המחשב כשלעצמו היא כה גדולה, הגורם המגביל שיגור מסוג זה, הוא מחיר הקיבולת של מעגל השיגור שכדאי להתקין. בתקשורת ממחשב אל מחשב כל התקן קלט המחובר למחשב יכול לשמש בעקיפין כמשגר וכל ציוד פלט — כמקבל.

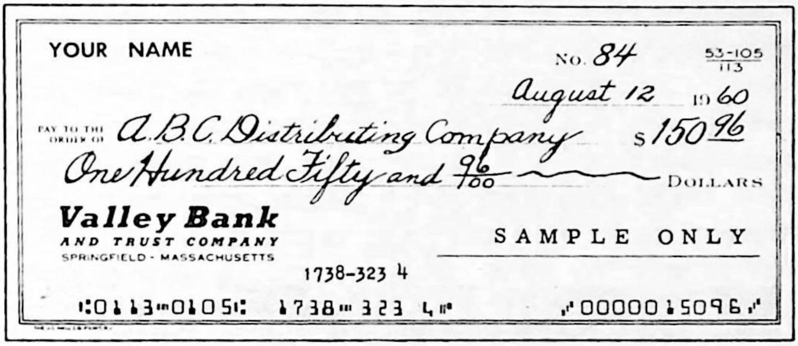
דוגמה טיפוסית לשימוש בשיגור נתונים למרחקים, הוא מערכות הקצאת מקומות בנתיבי אויר. במערכת כזאת פועל מחשב מרכזי המכיל באופן מתמיד אינפורמציה מעודכנת לגבי המקומות הפנויים בנתיבי אויר ומסלולי טיסה שונים. כל הסוכנים קשורים עם המחשב על ידי התקנים לשיגור נתונים. שיגור הנתונים הוא דו סטרי. הסוכן מקבל מהמחשב לפי בקשתו אינפורמציה על מקומות פנויים בטיסות שונות ומוסר למחשב אינפורמציה על מקומות שנמכרו כדי לעדכן את מלאי המקומות (ולצורך חישובים אחרים) ומוסר אינפורמציה על מקומות פנויים, לפי בקשת הסוכנים.

מתוים גרפיים כהתקן פלט

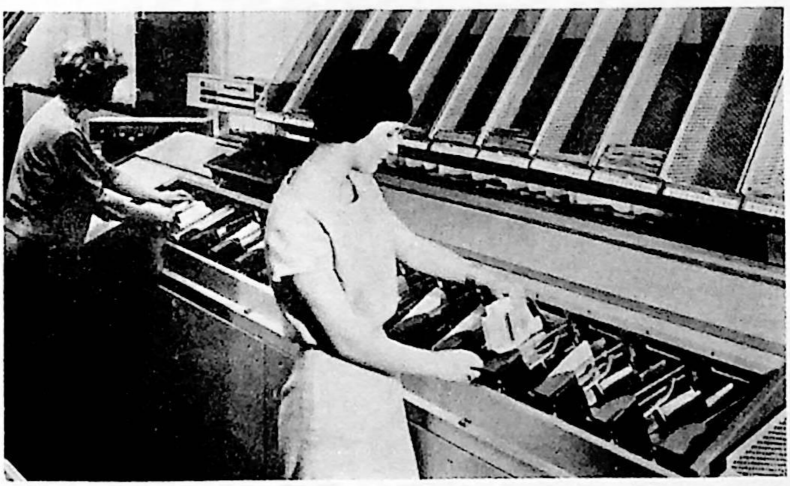
בסוגים מסוימים של שימושים במחשב סיפרתי רצוי שהפלט יתקבל בצורת עקומים. אפשר להשיג מטרה זו בכמה דרכים. לדוגמה, אפשר למסור את הפלט הספרתי של מחשב לממיר מיצוג ספרתי ליצוג אנלוגי. הממיר יוצר אותות אנלוגיים אותם אפשר לרשום ברשם אוסילוגרפי.

שיטה אחרת היא שימוש במתווה ספרתי המוצג בציור 23—6. הקלט הספרתי הדרוש למכונה זו מורכב מתווים בני 7 ספרות בינריות כל אחד, תוו לכל נקודה שעל העקום. שלוש משבע הסביות מציינות את מרחקה של הנקודה הבאה, ימינה או שמאלה. שאר הסביות מציינות את סוג הנוסחה המשמשת להגדרת עקום מסוים.

מתווה זה יכול לשרטט ארבע נוסחות שונות. קצב השרטוט הוא 20 נקודות לשניה כאשר מזינים אותו באינפורמציה ממקור מתאים.



ציור 24—6. דוגמא של המחאה, שבתחתיתה מופיעות ספרות המוטבעות בדיו מגנטית. המחשב — באמצעות מיתקן לקריאת דיו מגנטית — קורא את הספרות והאותיות שהוטבעו, שהם פרטי ההמחאה הנחוצים.



ציור 25—6. יחידה לקריאה ומיון של מסמכים הכתובים בדיו מגנטית (חב׳ בורוז).

זיהוי תוים

כאמור, ניקוב נתונים בכרטיסים לצורך הזנתם במחשב, מעורר קשיים כאשר מדובר בכמויות גדולות של נתונים. השאיפה — לצמצם את צוארי־הבקבוק שיוצרות פעולות הניקוב בתהליך הזנת הנתונים — הביאה להמצאת מכשירים המסוגלים לזהות תוים מודפסים או מוטבעים ולקראם פנימה לזיכרון המחשב. כיום, קימים שני סוגים של זיהוי: זיהוי מגנטי וזיהוי אופטי.

שני הסוגים בנויים על פי אותו עיקרון אך שונים בטכניקה המגשימה אותו. העיקרון הוא, שהתו ייתן סדרת פעימות חשמליות קבועה מראש ובעלת רמת מתח קבועה מראש.

הזיהוי המגנטי נעשה, על ידי סריקת שטח התו באמצעים חשמליים (בדומה לראש קריאה של סרט מגנטי) וחישת נקודות ממוגנטות בשטח התו. הזיהוי האופטי נעשה על ידי סריקת שטח התו בקרן אור וקליטת ההקרנה החוזרת, של נקודות לבנות ושחורות בשטח התו, והפיכתה לפעימות חשמליות.

ABCDEFGH
IJKLMNOP
QRSTUVWX
YZ*+,-./
01234567
89

ציור 26—6. תוים תקניים לצורך קריאה אופטית, שנקבעו על ידי הארגון הבינ־לאומי לתקנים. התוים ניתנים לשימוש בשלושה גדלים.

זיהוי מגנטי

הזיהוי המגנטי דורש, כמובן, שהתוים יודפסו בחומר בר מגנוט. השימוש בשיטה זו נפוץ בעיקר בבנקים. לפני הוצאת פנקס המחאות ללקוח, מדפיס הבנק את מספר הזיהוי של הלקוח ואת מספר החשבון שלו, בדיו מגנטית. הדיו מכילה תחמוצת ברזל. מספר הבנק וסמל הזיהוי שלו מודפס מראש בדיו זו. צורת התוים המודפסים ניתנת כמובן גם לקריאה בעין (ראה ציור 24—6). מערכת התוים מכילה את כל הספרות מ־0 עד 9, כמה אותיות וכמה סימנים מיוחדים.

הלקוח משתמש בהמחאות בדרך הרגילה. הבנק, המקבל את ההמחאה, מדפיס בדיו מגנטית את הסכום שרשם הלקוח על השיק. שיק כזה ניתן, איפוא, לקריאה בעין, ולקריאה במחשב, או בהתקן מיון מיוחד. השיקים עוברים תהליך מיון לפי בנקים ולקוחות, ותהליך קריאה של סכומים לצורך עדכון חשבונות.

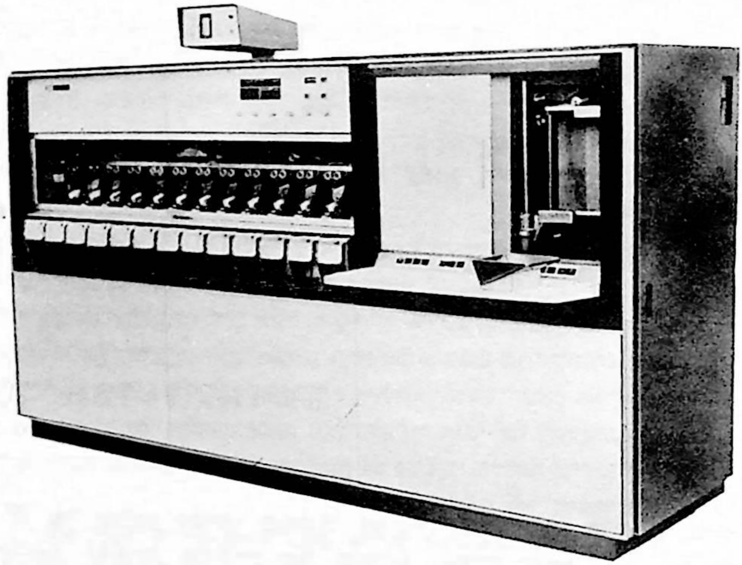
לתוים מודפסים בדיו מגנטית שני יתרונות. האחד, היותם קריאים על ידי אדם ומכונה גם יחד. היתרון השני הוא שגם אם נרשם משהו על התוים, או נדבק לכלוך, יכולה המכונה לקרוא את התוים.

זיהוי אופטי

פיתוח הזיהוי האופטי נמצא עתה בעיצומו. המטרה היא להגיע למצב בו יוכל המחשב לקרוא כל חומר מודפס. מצב כזה עשוי לפתור חלק ניכר מהבעיות הקימות בהזנת קלט למחשב, בפרט במוסדות גדולים במיוחד. הוא גם עשוי לפתור את בעיות הקיטלוג והתימצות של ספרות מקצועית ומחקרית.


דפוס מ. אדלר
בית דפוס לעבודות מקצועיות מיוחדות
תל־אביב, רחוב פרץ 25
2345
יום ______
דוגמאת הדפסה (מיון מגנטי)
№ 0471
בנק "לדוגמא" בע״מ
שלמו לפקודת ______
ל״י ______
ל״י
I.L.
100
דפוס מ. אדלר
האוצר
מס בולים 3 אגי שולם
מס' אישור 2145/65
כל הזכויות שמורות
לדפוס מ. אדלר
1235004712 9031 40016

ציור 27—6. דוגמת המחאה, שבתחתיתה ספרות וסימנים לקריאה מגנטית.



ציור 28—6. יחידה לקריאה אופטית של סימנים אלפבתיים, מספרים וקודים מיוחדים. המכונה — י.ב.מ. 1428 קוראת וממיינת 24,000 מסמכים בשעה.

ניצול יעיל בזיהוי אופטי מותנה בשימוש בתוים (אותיות ומספרים וסימנים אחרים) תקניים ובאיכות גבוהה של הדפסה. התוים המודפסים חיבים להיות מלאים ונקיים, מפני שכל שיבוש בתו או בשטחו יגרום לסטית הפעימות המתקבלות מהצופן הקבוע מראש.

קיימים היום התקנים רבים המסוגלים לקרוא פלט מודפס של מחשבים, של מכונות הנהלת חשבונות ושל מכונות כתיבה ודפוס רגילות.

מן הראוי להזכיר את האמצעים הראשונים לזיהוי אופטי, המבוססים על סימון קוים בעפרון במקומות קבועים מראש ובעלי משמעות, על גבי ניר. אמצעים אלה נמצאים עדיין בשימוש נרחב יחסית. אחד השימושים הנפוצים באמצעים אלה הם שאלונים של מבחנים, הבנויים על ברירת תשובות (multiple choice test). ליד כל תשובה אפשרית משורטט זוג קוים דקיקים. המשיב מסמן קו בעפרון רגיל, בין זוג הקוים המודפסים ליד התשובה בה בחר. השאלון מודפס בחומר שאינו מגיב להארה. ההתקן המזהה את התשובות מעבירן לזיכרון המחשב. המחשב משוה את התשובות למערכת תשובות נכונות המצויות בזיכרון, וקובע את הציון על פי תכנית.

7

כיצד זוכר המחשב

יכולתו של מחשב ספרתי ל„זכור" עשויה להיות גורם חשוב בקביעת שימושיותו. קיבולת הזיכרון של המחשב נמצאת ביחס ישר ליעילות התיפעול שלו, במיוחד בשימושים של עיבוד נתונים. גם המהירות בה מוכנסת אינפורמציה למערכות הזכרון השונות של המחשב, ומוצאת מהן, היא בעלת חשיבות ראשונה במעלה.

כפי שצוין לעיל, אפשר לדרג את מערכות הזיכרון של מחשב לפי גודל ומהירות. מכיון ששני מאפינים חשובים אלה מנוגדים זה לזה, מורכבים רב מתקני המחשבים מצירופים של מערכות זיכרון בעלות מהירות וקיבולת מוגבלת, ומערכות זיכרון בעלות מהירות נמוכה וקיבולת גדולה. בשני המקרים הדירוג הוא יחסי, מכיון שמהירות איטית של מחשב אחד עשויה להיות די מהירה לגבי מחשב אחר.

סוגי זיכרון

מחשבים יכולים לאחסן אינפורמציה בהתקנים כמו טבעות מגנטיות, ציפוי מגנטי דקיק (Thin Film), תופים מגנטיים, סרטים מנוקבים, סרטים מגנטיים, דיסקות (תקליטים) ורבים אחרים. בחירת התקן האיחסון המתאים נעשית בדרך כלל על ידי היצרן, על סמך לימוד השימושים להם נועדה המכונה שלו. מכיון שלא תמיד משמשים המחשבים, באופן בלעדי, לסוג אחד של חישוב, מציעים רב היצרנים סוגים אחדים של זיכרון, כחלקי מערכת הניתנים לברירה.

לרב המחשבים יש לפחות כמות מוגבלת של זיכרון בעל גישה מהירה בו משתמשים כאשר המהירות חשובה. זיכרון זה מכיל מונים אליהם ניתן להגיע במהירות ובאופן ישיר, כאשר הללו נדרשים על ידי התכנית. לכן, משתמשים בהם בדרך כלל לאיחסון זמני של אינפורמציה. חלק הזיכרון שהגישה אליו מהירה, מורכב בדרך כלל מטבעות מגנטיות. טבעות מגנטיות מאפשרות גישה מהירה, אולם הן יקרות, במיוחד כשמדובר בזיכרונות בעלי קיבולת גדולה.

חלק אחר של מערכת הזיכרון ברב המחשבים, הוא הזיכרון שהגישה אליו איטית. זיכרון זה מסוגל לאחסן כמויות ניכרות של אינפורמציה. הוא מורכב בדרך כלל מסרטים ו/או דיסקות, ללא סידורים לגישה מהירה. חלק זה של מערכת הזיכרון משמש לאיחסון אינפורמציה כאשר לא דרושה גישה מהירה מאד או כאשר אפשר להסתפק בגישה איטית, באופן יחסי. מערכות מסוימות מסודרות כך שאפשר להוציא אינפורמציה מהזיכרון גם כאשר נמשכים עיבודים אחרים. באופן זה מתגברים על ההשהיות הנכפות על ידי האיטיות היחסית של התקן הזיכרון.

מכיון שיצרן מחשבים לעולם אינו יודע בדיוק מהו גודל הזיכרון הנחוץ לשימוש נתון, הוא בונה את המחשב באופן שניתן להוסיף לו מערכות זיכרון. הלקוח יכול, איפוא, להגדיל את קיבולת הזיכרון שלו על ידי הוספת מערכות זיכרון של טבעות, או יחידות סרטים מסוגים אחרים.

זמני גישה לזיכרון

בזיכרונות של טבעות מגנטיות מאוחסנת האינפורמציה באלמנטים מגנטיים זעירים. כל אחד מהאלמנטים מחובר למעגלי קלט פלט המסוגלים לפנות לכל חלק מבוקש של הזיכרון.

במערכת סרטים, האינפורמציה מאוחסנת על רצועה ארוכה של סרט והסרט נע דרך ראשי קריאה־כתיבה, כדי לתת גישה לכל חלק מבוקש של האינפורמציה המאוחסנת.

אם המחשב מעסיק יחידות סרטים רבות (לצורך אחסון אינפורמציה שמהירות הגישה אליה בינונית), ניתן מספר לכל יחידה, כדי שהמחשב יוכל לפנות ליחידה זו או אחרת לפי הצורך. לכל התקן אחסון של המחשב יש כתובת בלעדית הידועה לתכניתן של המחשב. הגישה לכתובת זאת אפשרית גם מציוד הקלט־פלט וגם ממוני העיבוד השונים של המחשב.

כבר הזכרנו התקנים לאחסון אינפורמציה המורכבים מאלמנטים פעילים כמו שפופרות וטרנסיסטורים. בדיוננו הדגשנו כי התקני

איחסון כאלה צריכים למלא שתי דרישות: (1) שאפשר יהיה להסב אותם (כלומר לכוונם מרחוק למצב היציב האחד או האחר), ו־(2) שאפשר יהיה לבדוק את מצבם מרחוק, כלומר לקרא את האינפורמציה המאוחסנת בהם. התקני אחסון הבנויים מאלמנטים פעילים יכולים להיות מהירים לאין שיעור ונוחים לשימוש. באמצעות מעגלים מתאימים אפשר לייצר התקן איחסון כמעט מושלם, אבל מחירו גבוה. עקב כך, משתמשים בסוג זה של התקני אחסון בדרך כלל, רק במקומות בהם מהירות גבוהה חשובה. לדוגמה — במונים של קלט־פלט, שהקשר הדו־סטרי שלהם עם הזיכרון עשוי להתקיים אלפי פעמים במשך תהליך עיבוד הנתונים של בעיה בודדת. כל השהיה בקשר זה מוכפלת על ידי מספר הפעמים שהקשר נדרש.

מערכות זיכרון הבנויות מאלמנטים פעילים הן בדרך כלל בעלות קיבולת קטנה, בגלל מחירן. במערכות גדולות משתמשים בעיקר בטבעות מגנטיות.

תכונות הטבעת המגנטית

במערכות זיכרון של טבעות מגנטיות, משמשים אלמנטים זעירים בצורת טבעת שקטרה החיצוני הוא בין 1 ל־3 מילימטר, כהתקני איחסון. טבעות אלה עשויות מחומר הנקרא פ ר י ט (ferrite) (הפריט הוא תרכובת לא־מתכתית של תחמוצת ברזל ותחמוצות אחרות). ייצורן מבוקר בקפדנות כדי להבטיח אחידות של המאפינים המכניים והחשמליים שלהן. למרות תהליך הייצור הקפדני, נבדקת כל טבעת לחוד (במערכת זיכרון של מחשב גדול עשויות להיות מאות־אלפי טבעות כאלה).

החומר ממנו עשויות טבעות זיכרון הוא בעל תכונות מגנטיות, המע־ניקות לטבעת יכולת לשמש התקן דו־מצבי. במונחים טכניים אומרים כי הטבעות מגלות מאפינים של עניבת—חשל—מגנטי מרובעת (rectangular hysteresis loop).

הבה נסקור בקצרה את התיאוריה המגנטית היסודית ונראה כיצד תכונה זו נותנת לאלמנטים אלה כושר זכירה.

חלק חדש של חומר בעל מאפיינים של עניבת חשל מגנטי מרובעת, (הנקראת בדרך כלל עניבה מרובעת (square loop) אינו מגלה תכונות מגנטיות משל עצמו. אולם אם החומר נמצא תחת השפעת שדה מגנטי, נערכים חלקיקיו בכיוון השדה. הודות לתכונה אחרת של חמרים אלה הידועה בשם שיוריות (או מותירות — retentivity) שומרים

החלקיקים הערוכים על היערכותם זו, גם לאחר שמרחיקים את השדה המגנטי. חמרים בעלי שיוריות נמוכה (כמו ברזל רך) מאבדים את המגנטיות שלהם כאשר נפסקת השפעת השדה המגנטי. החמרים בעלי השיוריות הגבוהה הם אלה המתאימים להתקני זיכרון דו־מצבי.

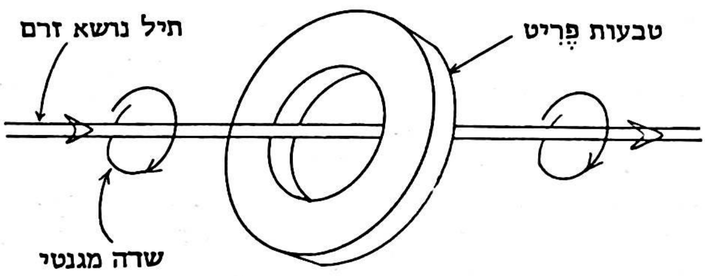
תכונה נוספת הנדרשת מהחמרים המשמשים לזיכרון־טבעות, היא שהשינוי ממצב אחד למצב האחר (שינוי מהיערכות החלקיקים בכיוון אחד להיערכותם בכיוון ההפוך), יהיה קצר ככל האפשר. פירוש הדבר שאם תופעל על החומר השפעה רגעית של שדה מגנטי, הוא ישמור על שיעור גבוה של המגנטיות שהוקנתה לו. אם יפעל על אותה טבעת — שדה מגנטי בעל קטביות הפוכה, באיטיות, תשמור הטבעת על המיגנוט המקורי עד אשר ישתלט השדה החדש והחלקיקים ייערכו מחדש בכיוונו של השדה החדש, באופן מידי. בתנאים אידיאליים צריך שינוי זה להתרחש כהרף עין.

מעגלי טבעות מגנטיות

ציור 1—7 מראה טבעת טפוסית, מוגדלת בהרבה, עם תיל העובר במרכזה. כאשר עובר זרם חשמלי בתיל, נוצר סביב התיל שדה מגנטי. אם הזרם מספיק חזק, יהיה השדה המגנטי בעל עצמה מספקת כדי למגנט את הטבעת המקיפה את התיל. נתאר לעצמנו כי הזרם העובר בתיל מתחיל מאפס ועולה בהדרגה בכיוון אחד. הטבעת תיעשה איפוא, בהדרגה, יותר ויותר ממוגנטת עד שתגיע לרוויה (saturation magnetization). בנקודה זו כמעט כל חלקיקי הטבעת ערוכים בכיוון צירו של השדה המגנטי, הנוצר על ידי התיל הנושא זרם. הגדלה נוספת של הזרם תשפיע אך מעט על מיגנוט הטבעת. בחומרים בעלי שיוריות גבוהה אידיאליים, יישאר אותו מצב מגנטי כאשר הזרם ייפסק. יותר מזה, מצב זה ממשיך להתקיים גם כאשר מגדילים בהדרגה את הזרם בכיוון ההפוך (הגורם להפיכת הקטביות של השדה המגנטי החיצוני). השיוריות היא כזאת שהחלקיקים שומרים על כיוון המיגנוט שלהם, גם אם פועל עליהם שדה מגנטי חיצוני נוגד.

אם נמשיך להגדיל את הזרם הנוגד, נגיע לנקודה בה השדה המגנטי החיצוני נעשה שליט. בנקודה זו נערכים החלקיקים מחדש, באופן מידי, בכיוון השדה החדש.

לאור סקירה קצרה זו של חומר אידיאלי (שאפשר להתקרב אליו, למעשה), אנו יכולים להתיחס לטבעת, כבעלת חלקיקים המסוגלים להיערך בכיוון אחד או בכיוון ההפוך לו. אם הזרמים החשמליים הם בגודל מספיק



ציור ו—7. טבעות מגנטיות, שגדלן כמחצית מסיפרה 0 (אפס) בעמוד זה, נמצאות בשימוש נרחב במחשבים. מהם נדרשת גישה מהירה לזיכרון. תיל נושא זרם ממגנט את הטבעת. הטבעת שומרת על המיגנוט גם לאחר שהורחק הזרם, ומאחסנת על ידי כך סבית אחת של אינפורמציה.

לגרימת רוויה, יש לנו, התקן דו־מצבי. מצב אחד מתקיים לאחר מסירת פעימה חשמלית חיובית לתיל, ואילו המצב ההפוך מתקים לאחר מסירת פעימה חשמלית שלילית לתיל. הבה ניחס, באופן שרירותי, 1 לוגי למצב הנובע מפעימה חיובית ו־0 לוגי למצב ההפוך, הנובע מפעימה חשמלית שלילית.

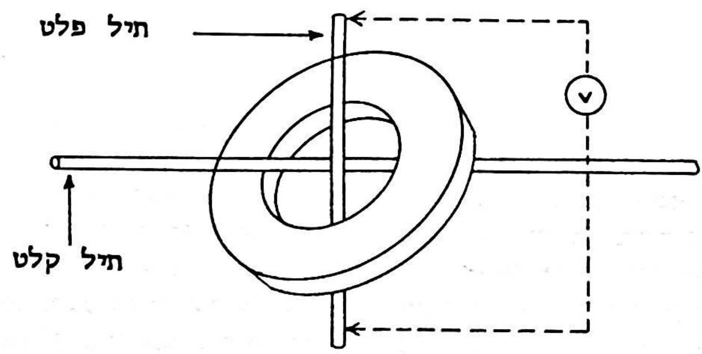
כדי לשנות את מצבה של טבעת רוויה עלינו להעביר דרך התיל, זרם בגודל מספיק להסבת הטבעת לכיוון ההפוך. הודות לשיוריות הגבוהה של חומר הטבעת תשמור הטבעת על האינפורמציה המאוחסנת בה עד אין סוף, או עד אשר „תימחק" האינפורמציה על ידי העברת זרם הפוך בתיל.

קבענו קודם לכן דרישה שניה מהתקן זיכרון שימושי: אנו מוכרחים להיות מסוגלים לבדוק את מצב ההתקן, או במלים אחרות, לקרוא את האינפורמציה המאוחסנת בו. למזלנו ישנה דרך קלה לעשות זאת בטבעות מגנטיות.

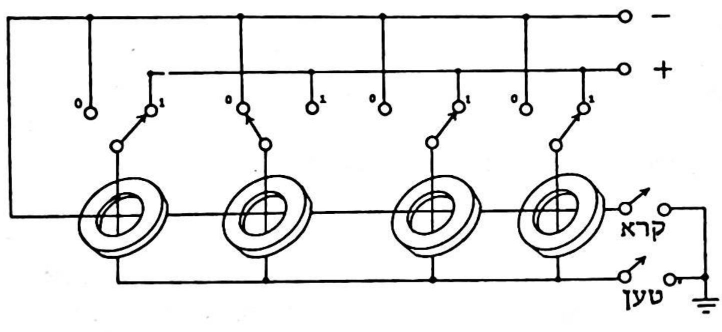
חישת מצבי הטבעת

הבה נעביר תיל נוסף דרך הטבעת, כמתואר בציור 2—7. אם נבחר לתיל זה מד רגיש, יופיע אות על התיל בכל פעם שהטבעת מוסבת. אם אוחסנה סבית בטבעת ואנו רוצים לדעת אם היא 1 או 0 (אם הטבעת נערכה על ידי נתוני הקלט או הושארה במצב 0), אנו מעבירים בתיל הקלט פעימה חשמלית שלילית. אם הפעימה גורמת לטבעת לסוב נגלה אות פלט המציין כי הטבעת נערכה קודם לכן (על ידי פעימה חיובית), ולכן הכילה סבית 1. אם מהבדיקה על ידי פעימה שלילית לא נתגלה אות פלט, אפשר להניח כי הטבעת לא סבה (היא כבר היתה במצב 0 שלה), הוה אומר כי היא לא נערכה על ידי נתוני הקלט, ולכן הכילה 0.

יש להדגיש בשלב זה שתי תכונות. לטבעת המגנטית יש זיכרון תמידי במובן זה, שלאחר היערכותה היא תישאר ערוכה עד אשר תיערך מחדש. לא דרוש כל כוח נוסף כדי לשמר את מצבה. על כל פנים, הדרך המעשית היחידה לבדוק את מצבה של הטבעת היא לערוך אותה מחדש. אולם, באופן זה אובדת האינפורמציה תוך כדי תהליך הקריאה. פעולה זו מכונה קריאה הרסנית, מפני שהנתונים נהרסים במשך התהליך.



ציור 2—7. על ידי מסירת פעימה שלילית לתיל הקלט (או לתיל נפרד המותקן למטרה זו), תיערך הטבעת מחדש למצב 0 אם היה מאוחסן בה 1. היערכות מחדש גורמת ליצירת אות בתיל החישה של הפלט. זוהי השיטה הנהוגה לבדיקת טבעות זיכרון.



ציור 3—7. מעגל פשוט מראה את השימוש במתגי היסט כדי לטעון ולקרוא ארבע טבעות מגנטיות. השימוש במתגים מכניים אינו מעשי בגלל מהירותם המוגבלת בהשואה לתכונות הטבעות.

במקרים רבים אין הקריאה ההרסנית מהווה בעיה ולמעשה לעיתים זוהי תכונה שימושית. אבל בשימושים מסוימים יש צורך לבדוק או לקרוא נתונים המאוחסנים בזיכרון באופן חוזר, מבלי להרסם, במשך התהליך. קימות שיטות שונות לשיחזור הנתונים אחרי כל בדיקה. שיטות אלה מנצלות את הפלט הלוגי המתקבל מהבדיקה, להפעלת מעגלי עריכה בוררים המציבים 1 במקום הדרוש, כדי לכונן מחדש את האינפורמציה המאוחסנת.

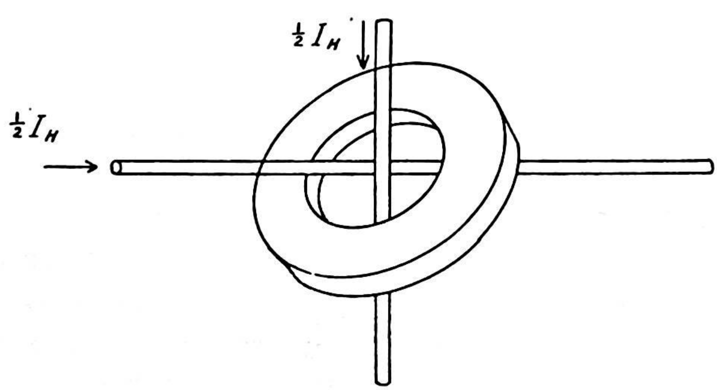
מערכות רבות-טבעות

ברור שלטבעת בודדת יש ערך מועט באחסון אינפורמציה ספרתית. למדנו קודם, שכדי לזכור ספרה אחת של מספר עשרוני לפי בסיס בינרי, דרושות לפחות ארבע סביות איחסון. ציור 3—7 מראה כיצד אפשר לאחסן ארבע סביות של אינפורמציה בארבע טבעות. אם סוגרים לרגע את מתג הטעינה ומכוונים את מתגי ההסט בהתאם לאינפורמציה הנכנסת, תיערכנה כל הטבעות הקולטות 1 על ידי הפעימה החיובית הנוצרת מסגירת מתג הטעינה. אם עתה נסגור לרגע את מתג הקריאה תיוצר פעימה חשמלית שלילית. הטבעות שנערכו, על ידי פעימת „הטעינה" תסובבנה למצב 0 שלהן, ותילי החישה שלהם ייצרו אותות פלט ניתנים לגילוי. הטבעות המכילות 0 לא יתנו אותות פלט, מכיון שהן אינן סבות.

הסבה אלקטרונית

בדוגמאות שהוצגו עד עתה השתמשנו במתגי־הסט, כדי לפשט ולהקל את ההסבר. מתגים מיכניים מסוג זה אינם מתאימים להסבה מהירה מהסוג הנדרש למערכות זיכרון של מחשבים. הם איטיים ודורשים הפעלה ידנית. בכל מערכות זיכרון הבנויות מטבעות מגנטיות כאלמנטים של אחסון, משתמשים בהסבה אלקטרונית. אפשר היה לשים במקום כל אחד מהמתגים המיכניים שתוארו קודם לכן, שוה ערך אלקטרוני, אבל קימות שיטות יעילות יותר להסבה, המפיקות את מירב התועלת מהמסבים (switches) האלקטרוניים ומהאלמנטים המגנטיים גם יחד. הזרם הדרוש להסבת הטבעת הזעירה ביותר, ע״י שדה של תיל יחיד, הוא די גדול בקני מידה של הסבה אלקטרונית. הצורך להסב את הזרמים הממגנטים על ידי טרנסיסטורים או התקנים מגנטיים אחרים, יוצר בעיה.

ציור 4—7 מראה שיטה בעלת כמה יתרונות, שאחד מהם הוא העובדה שכל מסב אלקטרוני צריך להעביר רק מחצית מכלל הזרם הממגנט. נוסף לזה נותנת שיטה זו אמצעים נוחים לפניה לחלקים מבוקשים של מערכת הזיכרון.



ציור 4—7. ברירת הטבעת נעשית על ידי העברה של חצאי זרמים בבת אחת. רק טבעות הנמצאות בהצטלבות של שני זרמים המתוספים זה לזה, מוסבות. כדי לקרוא נתונים מזיכרון טבעות משתמשים בטכניקות דומות.

פניה באמצעות חצי זרם

במעגל זה כל מסב (switch) מוביל זרם השוה למחצית הערך הנדרש למיגנוט רוויה של הטבעת. אם מעבירים דרך הטבעת שני חצאי זרמים חיוביים, בעת ובעונה אחת, מתקבל בנקודת ההצטלבות של התילים, במרכז הטבעת, זרם מלא אחד הגורם לטבעת לסוב. טבעות אחרות בהן עובר רק אחד משני התילים לא יושפעו, מכיון שלזרמים בני מחצית הערך, כשלעצמם, יש השפעה קטנה יחסית על חומר הטבעת. בקריאה מהזיכרון, רק הטבעת בה מצטלבים שני חצאי זרמים שליליים, תוחזר למצב 0.

בוני המחשבים משתמשים בטכניקה זו כדי לפזר נתונים ספרתיים על פני הזיכרון. הספרה הראשונה מאוחסנת במקום האחסון הראשון על ידי הפעלת מסבי קלט (input switches) בהתאם לנתונים שיש לאחסן ולשורה המקשרת בין סדרת סביות. שינוי נתוני הקלט והפעלת הסדרה השניה של טבעות, גורמת לאחסונה של הספרה השניה במקום המתאים, וכך הלאה.

מבנה לוח טבעות

הטבעות נקבעות בלוחות כמתואר בציור 5—7. בעת ייצור הלוחות מסדרים את הטבעות ברשתות מיוחדות ומשחילים דרכן תילים בעבי שערה באמצעות מחטים דקות. קצות התילים מולחמים, לאחר מכן, רבת שכבות.
למסגרות שלהם. לצורך שימוש בזיכרון, מצרפים את הלוחות למערכת רבת־שכבות.

לוחות טבעות במבנה זה מכוננות מערכות תלת ממדיות הדורשות אינפורמציה נוספת כדי לציין את כתובתו של כל נתון. בנוסף לברירת הטבעת המתאימה בלוח, יש גם לציין את הלוח המתאים.

כדי לטעון תו מסוים בזיכרון (הטעינה נעשית לעומקה של המערכת, כלומר הסביות של התו מופיעות על טבעות מקבילות בכל הלוחות), מעבירים שתי סדרות של פעימות קצובות של חצי זרם בעלות קטביות דומה דרך התילים הבוררים של עמודה הנבחרת (ראה ציור 4—7), בכל

פניה באמצעות חצי זרם

במעגל זה כל מסב (switch) מוביל זרם השוה למחצית הערך הנדרש למיגנוט רוויה של הטבעת. אם מעבירים דרך הטבעת שני חצאי זרמים חיוביים, בעת ובעונה אחת, מתקבל בנקודת ההצטלבות של התילים, במרכז הטבעת, זרם מלא אחד הגורם לטבעת לסוב. טבעות אחרות בהן עובר רק אחד משני התילים לא יושפעו, מכיון שלזרמים בני מחצית הערך, כשלעצמם, יש השפעה קטנה יחסית על חומר הטבעת. בקריאה מהזיכרון, רק הטבעת בה מצטלבים שני חצאי זרמים שליליים, תוחזר למצב 0.

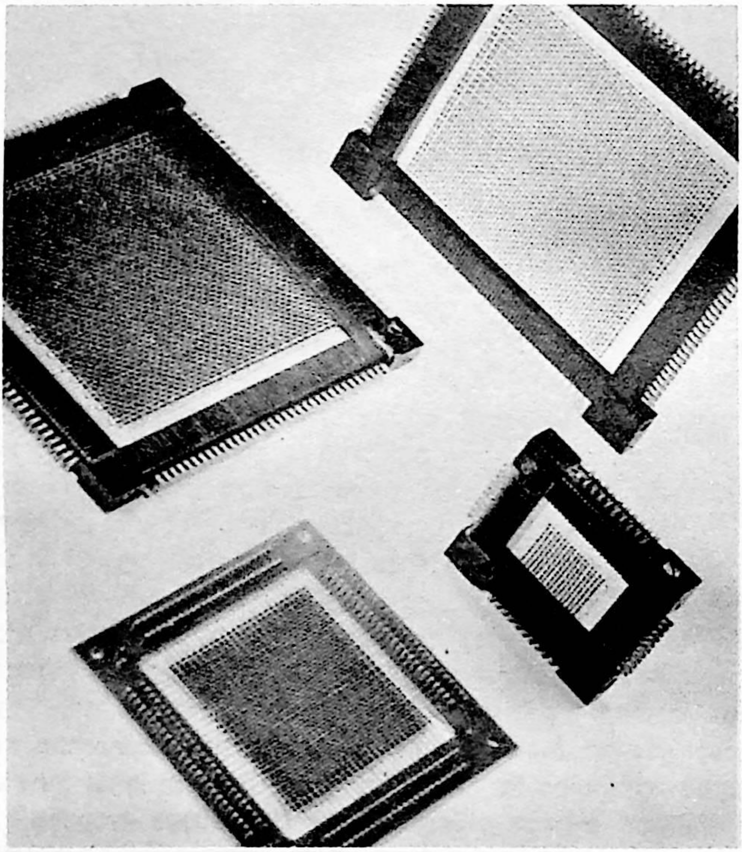
בוני המחשבים משתמשים בטכניקה זו כדי לפזר נתונים ספרתיים על פני הזיכרון. הספרה הראשונה מאוחסנת במקום האחסון הראשון על ידי הפעלת מסבי קלט (input switches) בהתאם לנתונים שיש לאחסן ולשורה המקשרת בין סדרת סביות. שינוי נתוני הקלט והפעלת הסדרה השניה של טבעות, גורמת לאחסונה של הספרה השניה במקום המתאים, וכך הלאה.

מבנה לוח טבעות

הטבעות נקבעות בלוחות כמתואר בציור 5—7. בעת ייצור הלוחות מסדרים את הטבעות ברשתות מיוחדות ומשחילים דרכן תילים בעבי שערה באמצעות מחטים דקות. קצות התילים מולחמים, לאחר מכן, רבת שכבות.
למסגרות שלהם. לצורך שימוש בזיכרון, מצרפים את הלוחות למערכת רבת-שכבות.

לוחות טבעות במבנה זה מכוננות מערכות תלת ממדיות הדורשות אינפורמציה נוספת כדי לציין את כתובתו של כל נתון. בנוסף לברירת הטבעת המתאימה בלוח, יש גם לציין את הלוח המתאים.

כדי לטעון תו מסוים בזיכרון (הטעינה נעשית לעומקה של המערכת, כלומר הסביות של התו מופיעות על טבעות מקבילות בכל הלוחות), מעבירים שתי סדרות של פעימות קצובות של חצי זרם בעלות קטביות דומה דרך התילים הבוררים של עמודה הנבחרת (ראה ציור 4—7), בכל



ציור 5—7. לוחות טבעות טיפוסיים לזיכרון של מחשב, הלוחות מסוגלים לאחסן כמה אלפי סביות אינפורמציה.

לוח ולוח. אילו רק חצאי זרמים אלו היו פועלים, הם היו מסבים את כל הטבעות שבמקום הנבחר, למצב של 1. אולם יחד איתם מעבירים דרך כל הטבעות שבמערכת, סדרת פעימות חצי זרם הפוכה לתו שיש לרשום (מיצגת את המשלים שלו), בכיוון הפוך. באופן זה טבעות הנדרשות לאחסן סבית 0 תקבלנה בבת אחת שלושה חצאי זרמים, שנים חיוביים ואחד שלילי, הנותנים יחד חצי זרם חיובי, אשר כשלעצמו אינו יכול לחולל שינוי במיגנוט הטבעת. הטבעות שנדרשות לאחסן סבית 1 תקבלנה רק שני חצאי זרמים חיוביים ותיסובנה למצב 1. כל שאר

הטבעות במערכת לא תושפענה: או שתקבלנה חצי זרם שלילי שאינו משפיע על מצבן, או שיצטלבו בהן חצי זרם שלילי וחצי זרם חיובי המבטלים זה את זה.

דרכי ההפעלה של זיכרון-טבעות

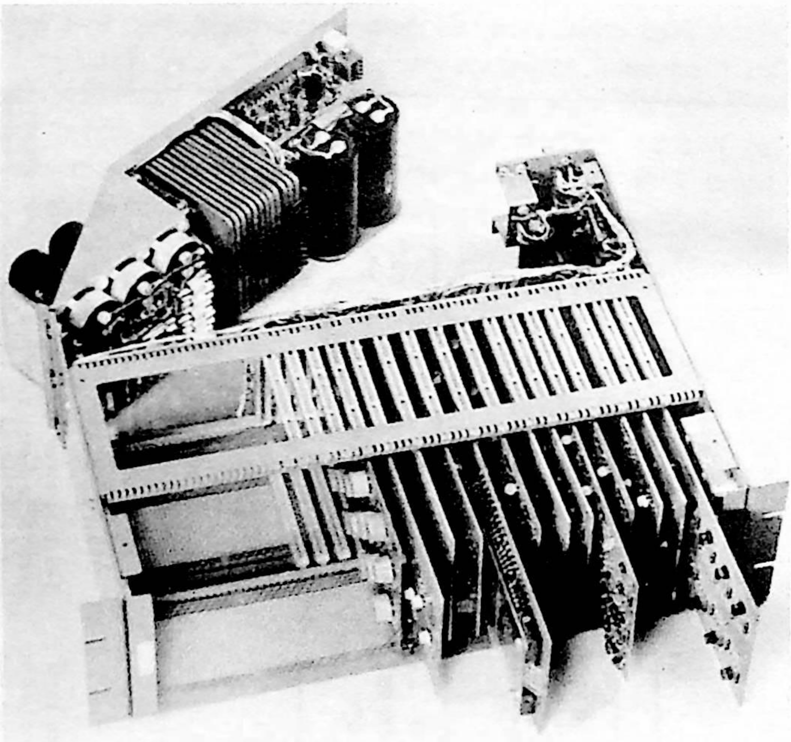
למעשה, כדי ל„שמור על עקבות" המקומות השונים של הזיכרון, משתמשים במונים אלקטרוניים. המונים שימושיים במיוחד במקרים בהם הנתונים נכנסים לזיכרון באותו סדר בו יוצאו ממנו אחר כך. סוג פעולה זה נקרא ברציפות פנימה / ברציפות החוצה (serial-in / serial-out). במקרים כאלה מפקחים המונים על מעגלים, המעבירים חצאי זרמים דרך כל סדרה של טבעות רצופות. בשימושים בהם ממלאים מערכת זיכרון בשלמותה, לפני שמרוקנים אותה, אפשר להשתמש במונה יחיד הן, לפעולת הטעינה והן לפעולת הקריאה החוצה. במקרים שהקריאה החוצה נדרשת לפני השלמת הטעינה, יש להשתמש במונים נפרדים לטעינה ולקריאה.

על כל פנים, ברב השימושים של זיכרון־טבעות דרושה גישה אקראית. פירוש הדבר, שהמחשב חייב להיות מסוגל לפנות לכל כתובת מבוקשת בזיכרון הן לצורך טעינה של אינפורמציה והן לצורך קריאתה החוצה. כדי לאפשר גישה אקראית לזיכרון משתמשים במטריצות פיענוח. המט־ריצה מתרגמת את הכתובת המופיעה בפקודה הניתנת למחשב, לפעימת זרם בתיל נבחר, המיועדת לטעינה או לקריאה של מקום אחסון מסוים.

במערכות בעלות גישה אקראית נכנסים הנתונים בזה אחר זה או במקביל ונקראים החוצה באופן אקראי, .או להיפך, בהתאם לשימוש ולתכנית העיבוד.

מערכות זיכרון רבות נבנות במיוחד בהתאם לדרישות המיוחדות של מחשבים שונים. לעומת זאת רבה הדרישה לסוגים מסוימים של מערכות זיכרון-טבעות. דרישה זו הביאה לייצורן של מערכות תקניות למטרות מסוימות. מיחסים למערכות תקניות ממדים של „אורך" ו„רוחב" מסוימים (או עומק). מערכות כאלה הן תלת ממדיות ומכילות גם מעגלים מיוחדים, המאפשרים למחשב גמישות בפניה לחלקים מבוקשים של המערכת.

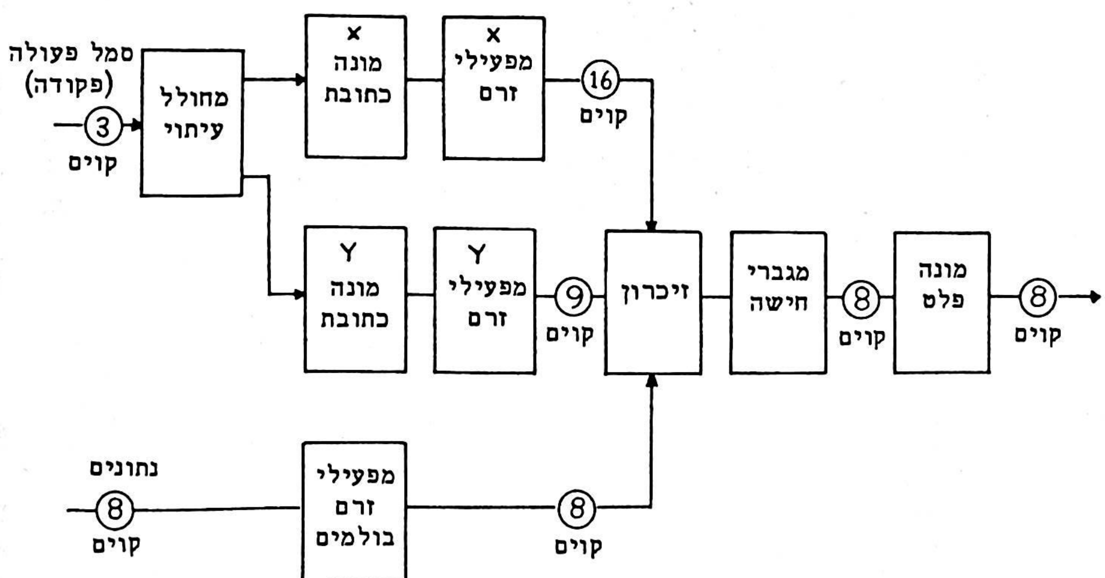
מימד „האורך" מתיחס למספר הסביות שאפשר להכניס במקביל (בבת אחת) ומגדיר לכן יחידת זיכרון יסודית הקרויה מלה (word). מימד „העומק" מתיחס למספר המלים שמערכת כזאת מכילה.



ציור 6—7. מערכת זיכרון מסחרית טפוסית המשתמשת בטבעות זרמים מצטלבים כדי לאחסן 144 תוים, כל אחד בן 8 סביות. קצב הקליטה והקריאה האפשרי הוא 100,000 תוים לשניה. המערכת תופסת פחות מרגל מעוקב. (General Ceramics).

מערכות זיכרון טיפוסיות

ציור 6—7 מראה יחידת זיכרון המסוגלת לאחסן 14 תוים בני 8 סביות כל אחד. היחידה תופסת רק ½5 אינצ׳ בשטח האיחסון של המחשב ומכילה את כל המונים האלקטרוניים והמגברים הדרושים לטעינה



ציור 7—7. תרשים מלבני מערכת הזיכרון המוצגת בציור 6—7. רמות מתח לוגיות נמסרות בסדר מתאים לתחנות קליטת הנתונים. עם מסירת הוראת „טעינה" (כמעט באותו זמן) יאוחסן התו המתאים במקום הפנוי הבא בזיכרון. מסירת פעימה של הוראת „קריאה" גורמת לקריאת התו המאוחסן הבא, ומסירתו לקוי הפלט בצורת רמות מתח.

וקריאה החוצה של נתונים. יחידה מסוימת זו יכולה לטעון נתונים או לקרוא אותם החוצה בקצב של 100,000 תוים לשניה. ציור 7—7 מראה את המבנה הלוגי של מערכת זיכרון זו.

למערכת זיכרון מסוג זה נדרש מספר ניכר של מעגלים כדי לסדר את הפעולות הדרושות לכל מחזור טעינה או קריאה החוצה. לרוב המחשבים יש שעון מרכזי היוצר פעימות הפעלה בפרקי זמן סדירים.

בדרך כלל נדרשת מערכת זיכרון לקבל או למסור אינפורמציה בקצב של תו אחד או מלה אחת לכל פעימה קצובה של השעון. לכן, העיתוי של הפעולות השונות, הנדרשות לכל מחזור טעינה או קריאה החוצה, צריך להיעשות בתוך מערכת הזיכרון. דרישה זו מושגת על ידי מערכת עיתוי פנימית, המיוצגת בציור 7—7 כמחולל עיתוי (timing generator). למערכת הזיכרון המתוארת יש שמונה תחנות לקליטת נתונים ותחנות קליטה לפקודות כמו טען, קרא החוצה, נקה, החזר למצב 0. עם פקודת טעינה מועברים הנתונים הנמסרים לתחנות קליטת נתונים (בצורת רמות מתח) למקום האחסון הראשון האפשרי. מונה הטעינה מקודם מיד בספירה אחת, ומפעיל את מעגלי הטעינה לניתוב מלת הקלט השניה, למקום האחסון הבא.

זיכרון טבעות כמאגר

השימוש במערכות זיכרון של טבעות מגטיות כמאגרים הוא די נפוץ. לאגירת אינפורמציה, מתאימה במיוחד שיטת העברת נתונים ברציפות פנימה / ברציפות החוצה, בה הפנית הנתונים לשטחי האחסון מבוקרת על ידי מונים. מכיון שלכל המחשבים יש כמות מוגבלת של זיכרון מהיר מאד (כמו זיכרון טבעות בעל גישה אקראית) יש להכניס את הנתונים לזיכרון, בקבוצות. נתונים בקבוצות נשאבים מסרט מגנטי. אבל מערכת הזיכרון העיקרית של המחשב מופעלת בדרך כלל בקצב המוכתב על ידי שעון המחשב וקשה מאד להפעיל מנגנון של סרט מגנטי בדיוק, בקצב זה. יתר על כן, לעִיתים רצוי להפעיל את התקן הקלט בזמן שהזיכרון הראשי של המחשב עסוק בפעולות אחרות. ס·בות אלה מעלות את הצורך במאגר. הנתונים מוכנסים למאגר בקצב הנקבע על ידי התקן הקלט. רק לאחר מכן הם מועברים לזיכרון המחשב תוך שימוש בשעון המחשב לקביעת קצב הקליטה. אנו רואים, איפוא, כ· טבעת מפגש־זרמים הוא מכשיר רב עצמה בידיו של מתכנן המחשב. הפשטות של אלמנט הזיכרון הבסיסי, הטבעת, מטעה במידה מסוימת

כאשר הדבר נוגע למערכת בשלמותה. מהדיון הקודם במערכות טבעות יובן, שכדי להשתמש בטבעות כיחידות אחסון דרושה מערכת מעגלים מורכבת. מערכת המעגלים היא כה נרחבת עד כי רק לעיתים רחוקות משתמשים בטבעות מפגש זרמים, במחשבים קטנים. מכיון שיש למלא דרישות חשמליות ומכניות מסוימות שאינן תלויות במספר הטבעות שבמערכת, עלותן של דרישות אלה אינה יכולה להיפרע ביעילות על ידי מספר קטן של טבעות.

זיכרון ציפוי מגנטי דקיק

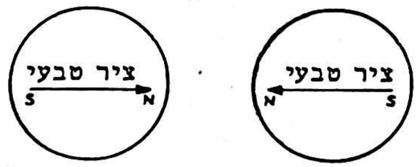
(Thin Magnetic Film)

ספרות של מספר בינרי אפשר לאחסן גם באלמנטים נפרדים של חומר מגנטי, עשויים בצורת נקודות עגולות או מרובעות, המוטבעות כציפויים דקיקים על לוח עשוי זכוכית או חומר מתאים אחר. המעגלים האלקטרוניים המתלווים לאחסון כזה דומים לאלה של אחסון טבעות, אבל התופעה עליה מבוססת פעולת האחסון שונה. כמו כן שונות הטכניקות הדרושות ליצור אמצעי אחסון כזה, ומורכבות הרבה יותר. סוג זה של זיכרון נמצא עדיין בשלבי התפתחות, אם כי כבר מצויים מחשבים הפועלים באמצעותו. כוח המשיכה של אמצעי אחסון זה טמון במהירות בה ציפוי מגנטי דקיק יכול לסוב מאחד משני מצבי המיגנוט, למצב המגנוט האחר. מהירות ההסיבה שלו גדולה פי 100 ואפילו פי 1000 מהמהירויות של טבעות מגנטיות. אף נראה כי אפשר להגיע בזיכרון זה לזמן גישה של 1 או 2 אלפיות של מליונית השניה (או ננו שניה). ניצולה של מערכת כה מהירה מציב דרישות חדשות לגבי המעגלים המתלווים אליה, שאותן אי אפשר למלא בטכניקות אלקטרוניות מקובלות. לכן, למרות שנבנו מספר מחשבים המשתמשים בזיכרון ציפוי מגנטי, עדיין לא הגיעו לניצול מלא של תכונותיו. פיתוח מעגלים בעלי מהירות מספקת לניצול המהירות הגבוהה של אחסון ציפוי מגנטי, מותנה אולי בפיתוח נוסף של מעגלים מכונסים של מצב מוצק (Integrated Solid State Circuitry), כלומר בנית מעגל אלקטרוני שלם בתוך אלמנט יחיד הדומה לטרנסיסטור.

יתכן כי כשם שהטרנסיסטורים וזיכרון טבעות מאפיינים את הדור השני של המחשבים האלקטרוניים, יאפינו המעגלים המכונסים של מצב מוצק וזיכרון ציפוי מגנטי את הדור השלישי.

מבנה זיכרון של ציפוי מגנטי דקיק

הציפוי המגנטי עשוי מסגסוגת של ברזל וניקל. נקודות הציפוי מתקבלות מאידוי חומר זה על משטח זכוכית בצורת מטריצה, באמצעות טכניקות של ריק גבוה. הקוטר של נקודה בודדת הוא 1 או 2 אלפית המילימטר ועוביה 1/1000 מילימטר. במשך תהליך ההטבעה, נמסר לפני המשטח שדה מגנטי אחד הממגנט כל נקודה, לאורך קוטרה, באותו כיוון. מסתבר, כי קל להפוך את כיוון המגנוט ולהסב את הנקודה ממצב אחד לאחר, אך אי אפשר למגנט את הנקודה בכל כיוון אחר, מפני שלאחר שמרחיקים את השדה המגנט חוזר כיוון המיגנוט לאחד משני המצבים היציבים. ציר המיגנוט הנוצר בעת תהליך ההטבעה נקרא, לכן, הציר הטבעי (easy axis). אפשר, איפוא, לאחסן ספרה בינרית באחד משני המצבים האפשריים של המיגנוט (ראה ציור 8—7).

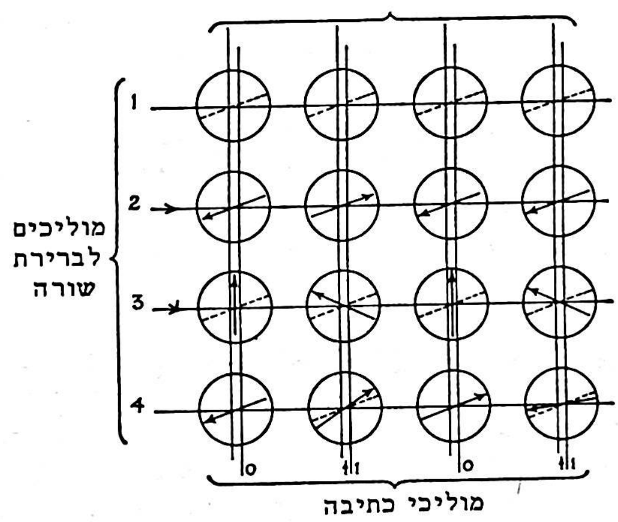


ציור 8—7. אחסון בינרי על ידי אלמנטים של ציפוי מגנטי.

גם את המוליכים הנדרשים להפעלת הזיכרון אפשר להטביע, על הזכוכית עם בידוד מתאים. אחת משיטות ההפעלה של זיכרון כזה מתוארת בציור 9—7.

אחסון וקריאה של נתונים בזיכרון ציפוי מגנטי

הקוים המרוסקים של נקודות הציפוי מציינים את הצירים הטבעיים שלהן. שימו לב כי הם יוצרים זוית קטנה עם המוליכים הבוררים שורות. נניח כי שורה 2 של מטריצה זו מכילה את המספר 1011, כפי שמצוין בציור על ידי כיוון המגנוט של הציפויים בשורה זו. כמו כן נניח כי יש לקרוא מספר זה מהזיכרון. מקומה של שורה 2 נברר על ידי העברת פעימת זרם במוליך של שורה 2 בכיוון המצויין בציור. לפעימה זו יש תנע (amplitude) מספיק כדי לסובב את כיוון המיגנוט של כל הציפויים



ציור 9—7. מבנה עקרוני של מטריצת ציפוי דק.

בשורה 2 עד שהם יוצרים זויות ישרות עם המוליך הבורר של שורה 2. בהשפעת פעימה, מסתובבים כיווני המגנוט של הציפויים המאחסנים 1 בכיוון השעון, וציפויים המאחסנים 0 — נגד כיוון השעון. הסיבוב של השדות המגנטיים משרה פעימות מתח קטנות במוליכי הקריאה. הציפויים שאחסנו 1, משרים פעימות חיוביות והציפויים שאיחסנו 0 משרים פעימות שליליות. אם מחברים את מוליכי הקריאה למגברים, שתפקידם להגביר פעימות חיוביות ולהתעלם מפעימות שליליות, מקבלים בפלט של המגברים את המספר 1011, בצורת פעימות. עם גויעתה של פעימת הזרם במוליך הבורר של שורה 2, יחזרו כיווני המיגנוט של כל הציפויים של שורה זו אל הציר הטבעי, בדרך הקצרה ביותר, ולכן, יחזרו למצב 0. תהליך הקריאה הוא, אם כן, הרסני.

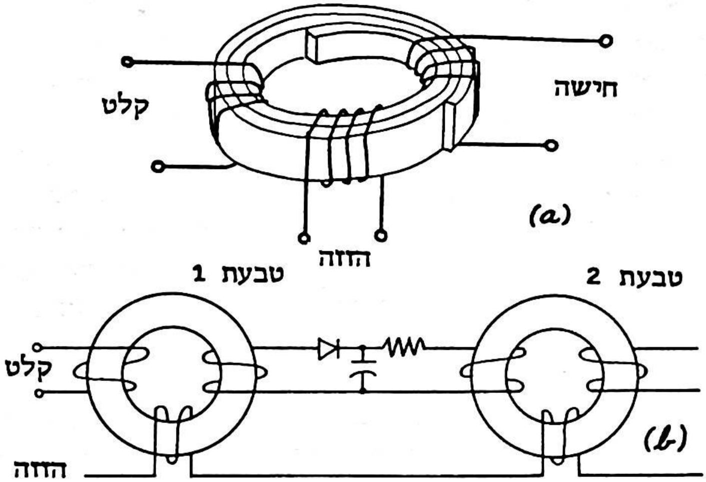
בתיאור תהליך הקריאה, ציינו כי כוון המגנוט מסתובב תחת השפעת פעימת זרם. חשוב להעריך את העובדה כי סיבובים אלה הם מאד ממשיים. הצירים המגנטיים של הציפויים הנפרדים חגים, כמו מחט חסרת משקל של מצפן, בכיוון המוכתב על ידי שדה מגנטי חיצוני, אולם תמיד הם חוזרים לאחד הכיוונים הטבעיים, כאשר ההשפעה מורחקת. תופעה זו ידועה בשם סבוב צמוד (coherent rotation). הודות לתופעה זו מושגת מהירות ההסבה המופלאה של הציפוי.

כדי לכתוב, מפעילים את המוליך הבורר שורה ואת מוליכי הכתיבה יחדיו. אין צורך למחוק את האינפורמציה המצויה בשורה, מפני שלפעימה במוליך הבורר ההשפעה האמורה של סיבוב הצירים המגנטיים של הציפויים לזוית ישרה עם המוליך.

הפעימות במוליכי הכתיבה גורמות להסחה קטנה של הצירים המג־נטיים של כל הציפויים שבדרכן. התנע של הפעימה צריך להיות כזה, שההסחה תהיה מספיק גדולה כדי לזעזע את הצירים המגנטיים של ציפויי השורה הנבחרת לכתיבה (אשר נמצאת גם תחת השפעתה של פעימת המוליך הבורר), כך שהם יתקרבו יותר למצב 1 מאשר למצב 0, אך לא גדולה עד כדי כך שתגרום להסבת הציפויים האחרים דרכם היא עוברת.

ציור 9—7 מראה את הכיוונים שיקבלו הצירים המגנטיים של הציפויים בשורה 3, בהשפעת פעימה בוררת ופעימות כתיבה, ואת ההשפעה הזמנית שתהיה לפעימה על הציפויים בשורה 4, אילו אחסנה 1001.

ברור, שכאשר נפסקות הפעימות יחזרו הצירים המגנטיים של הציפויים בשורה 3, לצירים הטבעיים באופן שיאחסנו את המספר 0101 (בהתאם לפעימות הכתיבה), והמספר 1001 ימשיך להיות מאוחסן בשורה 4.



ציור 10—7. ייצורם של אלמנטים של מונה הזזה יקר יותר, אבל בשביל זכרונות קטנים ומאגרים, יש להם יתרון בזה שהם דורשים פחות מעגלי הפעלה. טבעות של מונה הזזה מורכבות מרצועה דקה של חומר מגנטי כרוכה בצורת טבעת. סביב הטבעת מלופף תיל מוליך.

מוני הזזה מגנטיים

מצויים אלמנטים מגנטיים אחרים הדורשים פחות מעגלי הפעלה ולכן, למרות עלותם הגבוהה, חסכוניים יותר בשביל שימושים המסתפקים בזיכרון קטן. אלמנטים אלה נקראים מוני הזזה, (shift register) (ראה ציור 10—7).

מוני הזזה מגנטיים דומים בתפקידם למאגר טבעות הפועל בשיטת ברציפות פנימה / ברציפות החוצה. ציור 10—7 מראה תרשים מפושט של מונה הזזה בן שתי סביות. הנתונים מוגשים בזה אחר זה, תמיד למקום הראשון. בתחילה, מאוחסן התו הראשון במקום הראשון. כאשר מגיע התו

השני לקלט, נמסרת פעימת ההזזה לתחנת ההזזה והתו הראשון מועבר למקום האחסון השני ומשחרר את המקום הראשון לקבלת התו השני. תהליך זה נמשך, עד אשר התו הראשון מופיע במקום האחסון האחרון של המונה.

בשלב זה המונה מלא. מסירה פעימות הזזה נוספות תגרום להופעת הנתונים בזה אחר זה בפלט של המונה.

אלמנטים של מונה-הזזה

צורתו של האלמנט הבסיסי של מונה־הזזה דומה לטבעת. האלמנט נבנה על ידי כריכת רצועה דקה של חומר מגנטי, על גליל לא־מגנטי. באופן זה נוצרת צורת טבעת. תכונותיו של חומר הטבעת שונות במקצת מאלה של טבעות מפגש זרמים, אולם גם לחומר זה יש מאפיינים של עניבה מרובעת (square loop). במקום תיל העובר דרך הטבעת, מלופפים תילים סביב הטבעת. קצות התילים מחוברים בצורה היוצרת שרשרת טבעות. ייצור מוני־הזזה יותר גמיש, מכיון שאפשר לשנות את סוג החומר הבונה את הטבעת ואת כמותו, ואת מספר הכריכות של התיל. גמישות זו נותנת שליטה רבה יותר על המהירות ודרישות הזרם של טבעת זו, לעומת טבעת מפגש זרמים. התקן הזזה בסיסי יקר יותר מטבעת מפגש זרמים מפני שהוא מכיל שני אלמנטים, אחד מקום אחסון קבוע והשני מקום אחסון זמני. מציאותם של שני אלמנטים היא שמונעת את הצורך במעגלים לוגיים חיצוניים מסוימים הדרושים בשיטת מפגש זרמים. הטבעת המגנטית משמשת כאמצעי אחסון קבוע, וכבל (או טבעת נוספת) ממלא את התפקיד של אחסון זמני.

פעולת מונה-הזזה

טבעת של מונה־הזזה מכילה שלושה ליפופים, אשר כל אחד מהם מורכב מכריכות רבות של תיל. לפוף הקלט (ראה ציור 11—7) מקבל פעימת זרם אם יש לאחסן סבית 1 בטבעת, ואינו מקבל פעימה אם יש לאחסן 0. מכיון שלטבעת שיוריות גבוהה, יישמר המצב החדש גם כאשר תפסק הפעימה החשמלית.

ליפוף ההזזה מקבל פעימה במשך תהליך הזזה. פעימה זו נובעת ממעגל מניע (driver) ראשי, המעביר פעימות לכל ליפופי ההזזה של

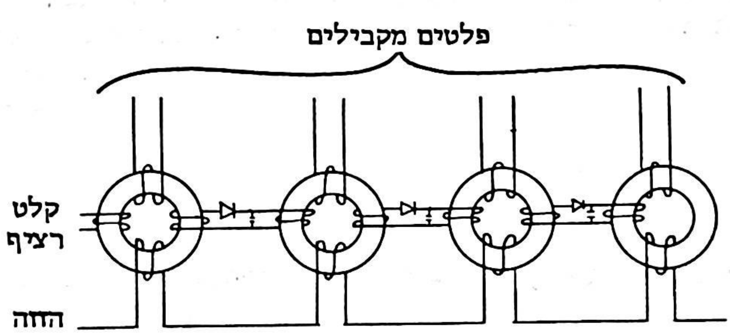
המונה. ליפוף החישה (sense) משמש לקריאת האינפורמציה מהטבעת כדי להעבירה לטבעת הבאה בשורה.

נניח כי סדרת פעימות מוגשת למונה הזזה המתואר בציור 11—7. סדרת פעימות כזו צריכה לגרום לאיחסון סדרת סביות 1 במערכת הזיכרון של המונה.

כאשר מגיעה הפעימה הראשונה, הנמסרת לליפוף הקלט של הטבעת הראשונה, תמוגנט הטבעת. הטבעת תשמור על מצבה גם לאחר שהקלט נפסק. פעימה בעלת השפעה ממגנטת הפוכה, נמסרת לליפופי ההזזה של כל הטבעות. פעימה זו גורמת לכל הטבעות המכילות 1 לסוב ל־0. מכיון שהטבעת הראשונה הכילה 1, כתוצאה מפעימת הקלט הראשונה, היא תסוב ל־0. בסובה מושרה זרם בלפוף החישה שלה. (אלו הטבעת לא הכילה 1, לפעימת ההזזה לא היתה כמעט השפעה עליה ולא היה מופיע פלט כל שהוא על לפוף החישה). פעימת זרם זו מסבה את הטבעת הבאה למצב של 1.

מעגלים של מונה הזזה

יש לציין כי גם פעימת הקלט משרה פעימת פלט בליפוף החישה, אבל פעימת פלט זו היא בעלת קטביות הפוכה לפעימת הפלט הנגרמת על ידי פעימת הזזה. הדיאודה המופיעה בציור 11—7, מבדדת את הפעימות



ציור 11—7. מונה הזזה טיפוסי המקבל אינפורמציה צעד אחר צעד ומוציא אותה במקביל. הנתונים מגיעים סבית אחר סבית. כאשר מכיל המונה 4 סביות נמסרת למונה פעימת הזזה נוספת הגורמת ליצירת פלטים מקבילים. הפלטים ייוצרו רק בטבעות שאחסנו סביות של 1.

בעלות הקטביות הבלתי רצויה וחוסמת בפניהן את המעגל הבא.

הדיאודה ממלאה תפקיד חשוב נוסף. במעגלי מונה־הזזה, הקבל נטען כאשר פעימת הזזה גורמת לטבעת הראשית שלו לסוב ממצב 1 למצב 0. הדיאודה, בהיותה התקן חד סטרי, מונעת התפרקות המטען של הקבל בחזרה למקור הזרם. התוצאה היא שהקבל מתפרק באמצעות ליפוף הקלט של השלב הבא, כלומר מעביר את ה־1 לשלב הבא, זמן מה אחרי שהתרחשה פעימת ההזזה. השהיה זו היא שמאפשרת להסב את כל האלמנטים של המונה למצב 0, באמצעות פעימת הזזה, ולהסב את הסביות המתאימות ל־1, לאחר שפעימת ההזזה נפסקה.

באופן זה האינפורמציה הנכנסת לקלט של מונה־הזזה מוזזת צעד אחר צעד אל עבר הפלט. מוני הזזה משמשים, לעתים קרובות, להפיכת נתונים מקבילים לנתונים רציפים, ולהיפך. כדוגמה טיפוסית, חשוב על מקור נתונים בו נוצרות סביות בזו אחר זו בסדר חשיבות יורד.

כדי להמחיש זאת נניח כי המספר הבינרי המתאים ל־9, שהוא 1001, נמסר למונה צעד אחר צעד. הסבית הראשונה המגיעה היא 1 ומתיחסת ל־2^3, השניה 0 ומתיחסת ל־2^2 השלישית 0 ומתיחסת ל־2^1 והאחרונה 1 ומתיחסת ל־2^0. נניח כי צריך להכניס 4 סביות אלה במקביל (בבת אחת) למקום אחר בזיכרון.

מונים להזזת סביות רבות

על ידי שימוש במונה הזזה בן 4 סביות, שהאלמנטים שלו מכילים ליפוף נוסף, כמתואר בציור 11—7, נכנסות 4 הסביות זו אחר זו בדרך שתוארה לעיל. עם קבלת הסבית הרביעית מופעלים לפופי החישה (שנוספו למונה) באופן אלקטרוני ולמערכת נמסרת פעימת הזזה נוספת. כל 4 הטבעות תסובנה למצב 0. הטבעות שהוסבו קודם לכן למצב 1 על ידי נתוני הקלט, תיצורנה בבת אחת פעימות פלט על ליפופי החישה שלהן. אלה שאחסנו 0 לא תיצורנה אותות פלט. יש לשים לב לכך שפעימת הזזה הגורמת לקריאה, גם גורמת להזזת הנתונים ברציפות, אבל דבר זה אינו מהווה בעיה. האינפורמציה הישנה פשוט „גולשת" מקצה המונה ונעלמת.

כדי לבצע פעולה הפוכה משתמשים בטכניקות דומות. קלטים מקבילים נמסרים (בבת אחת) ללפופי קלט נוספים. הסביות המאוחסנות בדרך זו יכולות להימסר לפלט בזו אחר זו, בדרך הרגילה.

שיטה זו נהוגה בהרבה מחשבים ספרתיים. דוגמאות נוספות תובאנה בהמשך דיוננו בפעולות המחשב.

טיפוסים אחרים של מוני הזזה

ישנם מוני הזזה הבנויים גם מחומרים אחרים. אחדים פועלים באמצעות טרנסיסטורים. סוג אחר של מונים המורכבים מטבעות מגנטיות מכילים שתי טבעות לכל סבית כשהטבעת השניה באה במקום הכבל והדיאודה. לכל הסוגים תכונה עיקרית והיא פעולה בצעדים. האינפורמציה מוזזת בכל פעם בצעד אחד, לפי פקודה, ומצב טבעות הקלט מוכתב בכל פעם על ידי נתוני הקלט. המצב של כל טבעת הבאה בתור נקבע על ידי מצב הטבעת הקודמת בזמן מסירת פעימת הזזה.

מונה הזזה הוא זיכרון מהסוג ההרסני, כלומר עם הזזת הנתונים לפלט נהרסים הנתונים שבמונה. בשימושים מסוימים דבר זה אינו רצוי. כדי לשמור על הנתונים המאוחסנים אפשר לחבר את מקום האחסון האחרון, או את הפלט, לתחנת הקלט. עם הזזת הנתונים מהשלב האחרון החוצה, הם נכנסים מחדש לקלט, בתנאי שלא נכנסת אינפורמציה חדשה. כדי לשמור על עקבות הנתונים במונה, בפעולה מסוג זה, הקרויה „תפיסת הזנב", משתמשים במעגלי ספירה ועיתוי חיצוניים.

זיכרון אקוסטי

מערכת זיכרון הפועלת לפי אותו עיקרון של תפיסת־הזנב הוא הזיכרון האקוסטי. למרות מגבלותיו הרבות וחוסר האהדה שמגלים כלפיו היצרנים של מחשבים מודרניים, יש לסוג זה של זיכרון יתרונות אחדים לגבי שימושים מסוימים.

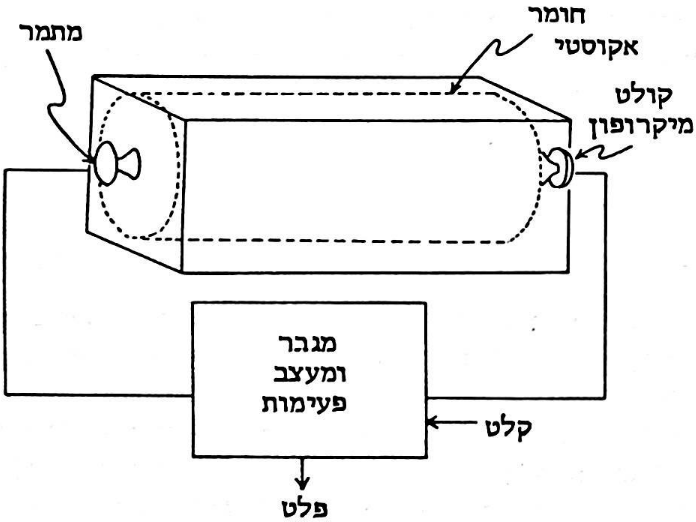
זיכרון אקוסטי מושתת על נטיתם של גלי קול לנוע דרך חמרים מסוימים, בקצב קבוע. בציור 12—7 מחובר קולט, שאפשר לדמותו למיקרופון, לקצה אחד של גליל חומר — ומתמר (transducer) הדומה לרמקול או לאוזניה, מחובר לקצהו השני של הגליל. אם מוגשת למתמר אינפורמציה ספרתית רצופה, בצורת פעימות קול, בקצב קבוע, ינועו גלי הקול היוצאים ממנו דרך גליל החומר וייקלטו על ידי המיקרופון. בעזרת מעגלי עיתוי ומגברים מתאימים, אפשר לחזור ולהזרים את הנתונים הספרתיים, עד אין סוף, על ידי הזנת הפעימות המוגברות של אנרגית הקול שנקלטה על ידי המיקרופון, בחזרה למתמר. מערכת קריאה סינכרונית קובעת את קיומם או היעדרן של סביות 1 ו־0 במקומות

נבחרים, ומשנה את הנתונים לפי הצורך.

זיכרון אקוסטי אינו מתאים למערכות בהן דרושה גישה במקביל לנתונים מאוחסנים, אלא אם מצרפים לו מוני הזזה מהסוג שתיארנו לעיל. אחד החסרונות העיקריים של זיכרון אקוסטי, היא העובדה שאם מתרחש מפל רגעי בכוח, כל האינפורמציה הולכת לאבוד, מפני שפעולתה של המערכת מותנית בהזרמה קבועה של הנתונים דרכה.

זיכרון של תוף מגנטי

אחד מסוגי הזיכרון הראשונים שהם עדיין שימושיים, הוא התוף המגנטי. התוף הוא אחד מהאמצעים החסכוניים לאחסון כמויות גדולות של נתונים, ומספק מהירות גישה סבירה להכנסת נתונים ולקריאתם החוצה.



ציור 12—7. לזיכרונות אקוסטיים יש תכונות מענינות אבל במקרה של ליקוי במקור הכוח כל הנתונים המאוחסנים הולכים לאיבוד. האינפורמציה מאוחסנת בצעדים (תו אחר תו) במעגל. לסביות צורה של פעימות גלי קול הנעים דרך חומר אקוסטי. לסוג זה של זיכרון נדרש ציוד עיתוי מדויק.

נתון שנרשם עם על התוף יכול להיות מאוחסן עד שהוא נמחק. את האינפורמציה המאוחסנת בתוף אפשר לקרוא החוצה אינסוף פעמים מבלי לקלקל אותה.

התוף שהוא בעל צורת גליל, נע במהירות קבועה באמצעות מנוע חשמלי. המשטח החיצון של התוף מצופה בחומר מגנטי. מסביב לתוף אפשר לקבוע עד 500 ראשי כתיבה־קריאה. כל אחד מהראשים מטפל במסלול רישום אחד. הראשים מסודרים ברווחים אורכיים סדירים, בדרך כלל 20 או יותר ראשים לאינצ׳. לפחות ראש אחד מיועד למסלול הקצב (clock track). מסלול הקצב מכיל סביות 1 בכל העמודות. מגבר הקריאה, המחובר למסלול הקצב, יוצר שרשרת קבועה של פעימות קצובות בדיקנות, המזהות נתונים רשומים ברווחים מדויקים מסביב למשטח החיצון של התוף (ראה ציור 13—7).

ראשי כתיבה־קריאה של תוף, זהים מבחינה עקרונית לאלה של סרט מגנטי, אלא שבתוף הם מוצבים במרחק קטן ממשטח הכתיבה, בדרך כלל 0,001 אינצ׳. (ראה ציורים 15—7; 16—7; ו־17—7) עם רווח כזה אפשר להשיג צפיפות פעימות עד דחיסות של 200 סביות לאינצ׳ של היקף התוף.

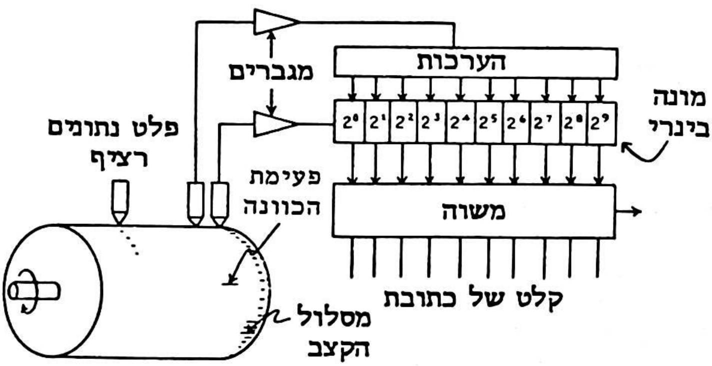
מהירות הסיבוב של התוף ומספר הסביות שבמסלול קובעים את תדירות הקצב. הקוטר של התוף, צפיפות הדחיסה ומספר המסלולים קובעים את כמות הנתונים שאפשר לאחסן עליו. (ראה ציור 18—7).

טכניקות רישום על תוף

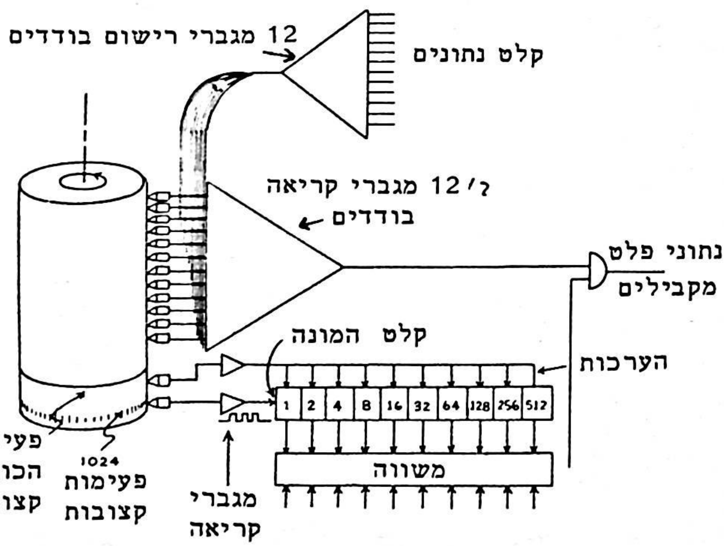
תוף טיפוסי שקוטרו 5 אינצ׳ ואורכו 12 אינצ׳ יכול לאחסן 625,000 סביות. אם הוא נע במהירות של 3600 סיבובים לשניה, הזמן הדרוש להשלמת סבוב אחד הוא בקירוב 0,017 שניה. זהו הזמן המירבי הדרוש כדי להגיע לחלק נבחר כלשהוא על פני התוף (המשמש כדוגמה). הסבה בין ראשים יכולה להיעשות באורח אלקטרוני או אלקטרו־מכני לפי המהירות הנדרשת מהמערכת.

כדוגמה למערכת זיכרון תוף טיפוסית, ישמש לנו תוף שמסלול הקצב שלו מכיל 1024 סביות רשומות בקביעות.

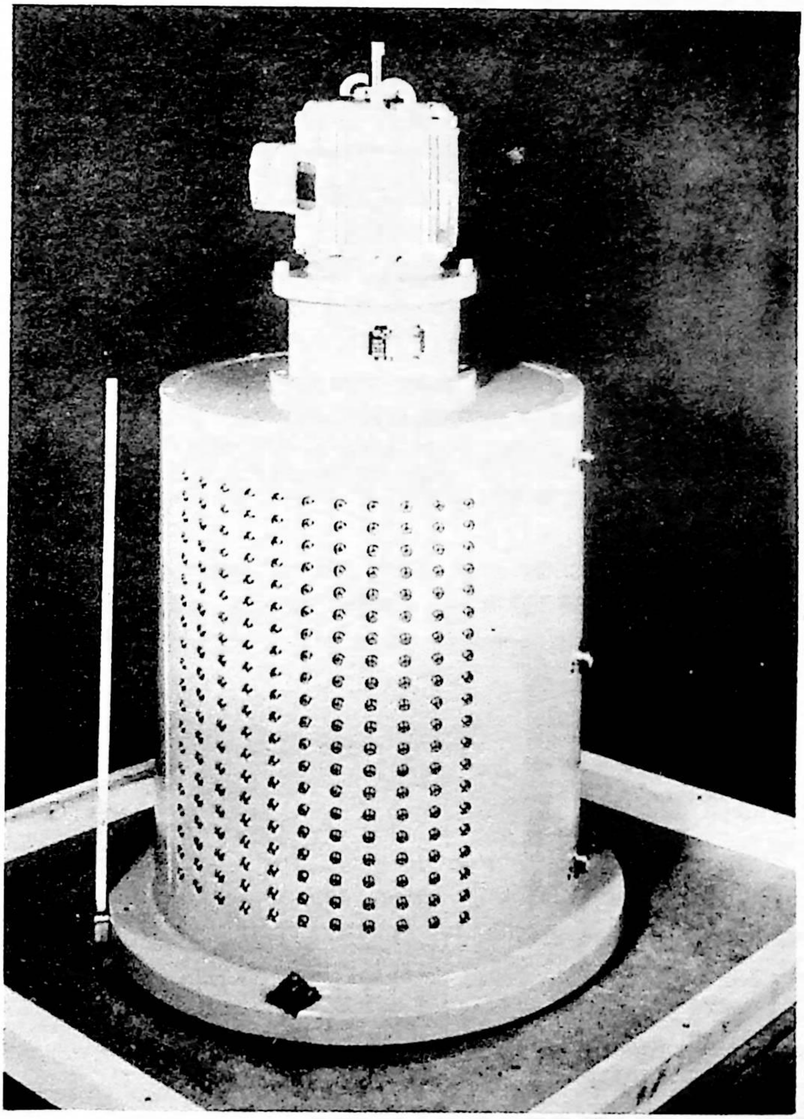
בדרך כלל מסלול הקצב הוא מעגל סגור. פירוש הדבר שהרווח בין הפעימה הראשונה והפעימה האחרונה, זהה לרווחים שבין שאר הפעימות שעל המסלול.



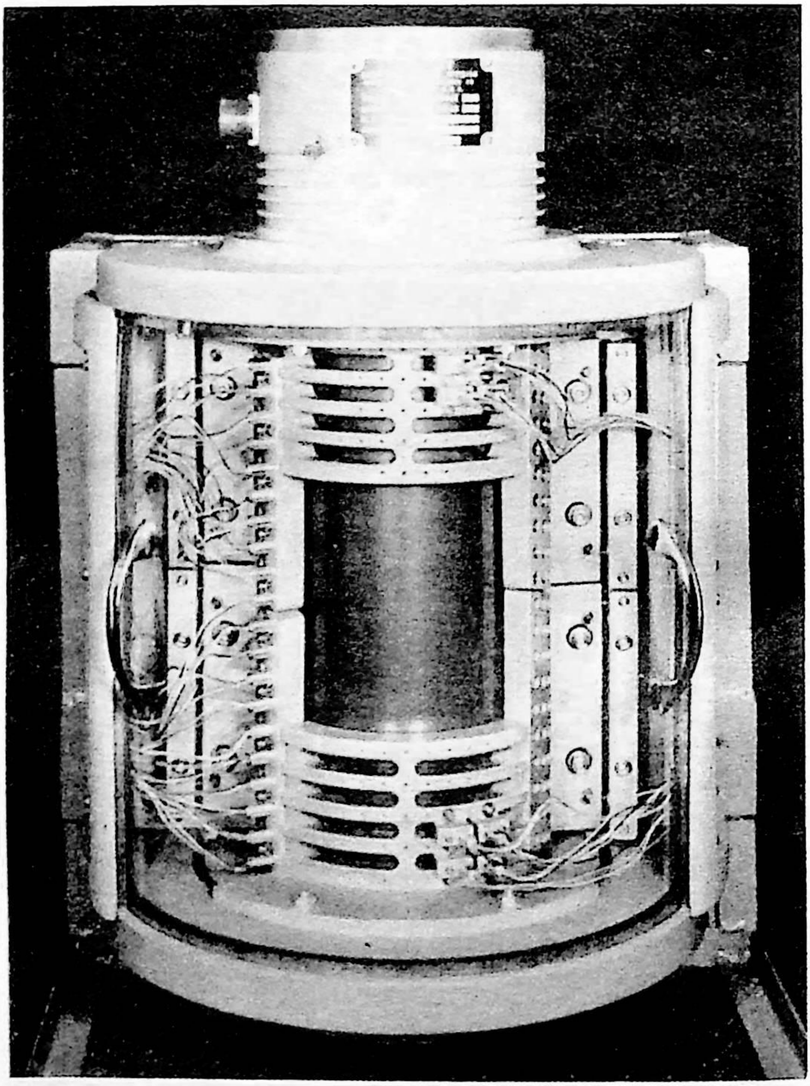
ציור 13—7. תופים מגנטיים הם אמצעי חסכוני לאחסון כמויות גדולות של נתונים, במהירות גישה סבירה. הסביות נרשמות כנקודות מגנטיות או שינויים מגנטיים במסלולים. מונים אלקטרוניים המופעלים על ידי פעימות הנובעות ממסלול הקצב, שומרים על עקבות מקומות האיחסון של נתונים.



ציור 14—7. במקרים מסוימים יש לרשום נתונים, במקביל, על כמה מסלולים. מסלול נקודת המוצא (fiduciary clock track) המכיל פעימה אחת בלבד, עוזר לזהות את תחילתו של מסלול הקצב, המגדיר את מקומות האחסון ועיתוייהם.



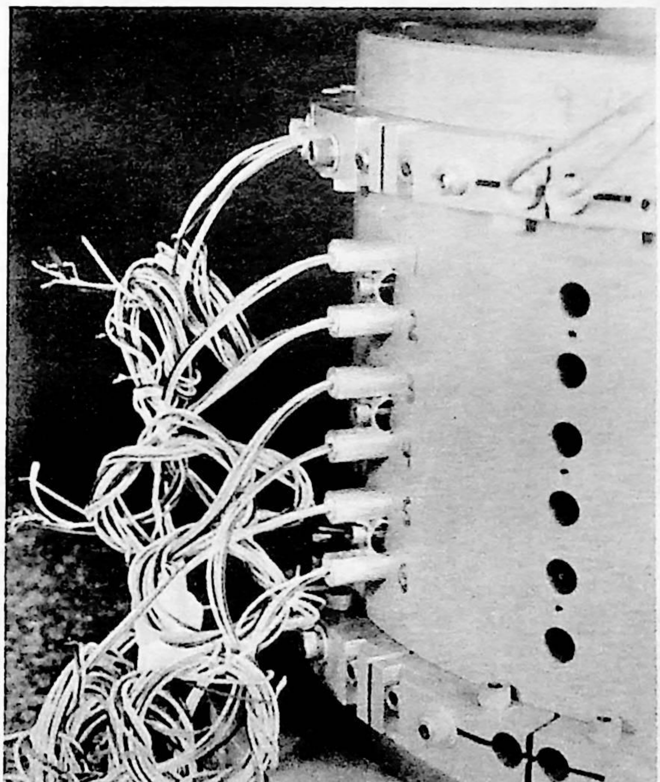
ציור 15—17. תוף־אחסון טיפוסי למחשב מסוגל להכיל על פניו מאות ראשי כתיבה־קריאה ולאחסן מליוני סביות של אינפורמציה ספרתית. הסרגל משמאל מצביע על אורך של 30 אינצ׳.



ציור 16—7. קרביו של זיכרון תוף מגנטי מראים את משטח הרישום במרכז. דגם זה (שקוטרו 5 אינצ׳ ואורכו 12 אינצ׳) מסוגל לאחסן 625,000 סביות אינפורמציה ב־240 מסלולים. (Bryant Computer Products).

הפלט הקבוע היוצא מראש מסלול־הקצב, מוגבר ונמסר למונה אלקטרוני בינרי שעשרת שלביו מסודרים כך, שפעימות הקלט סוגרות ופותחות את השלב הראשון חליפות, וכל שלב הבא בתור משנה את מצבו בכל פעם שהשלב הקודם לו נפתח.

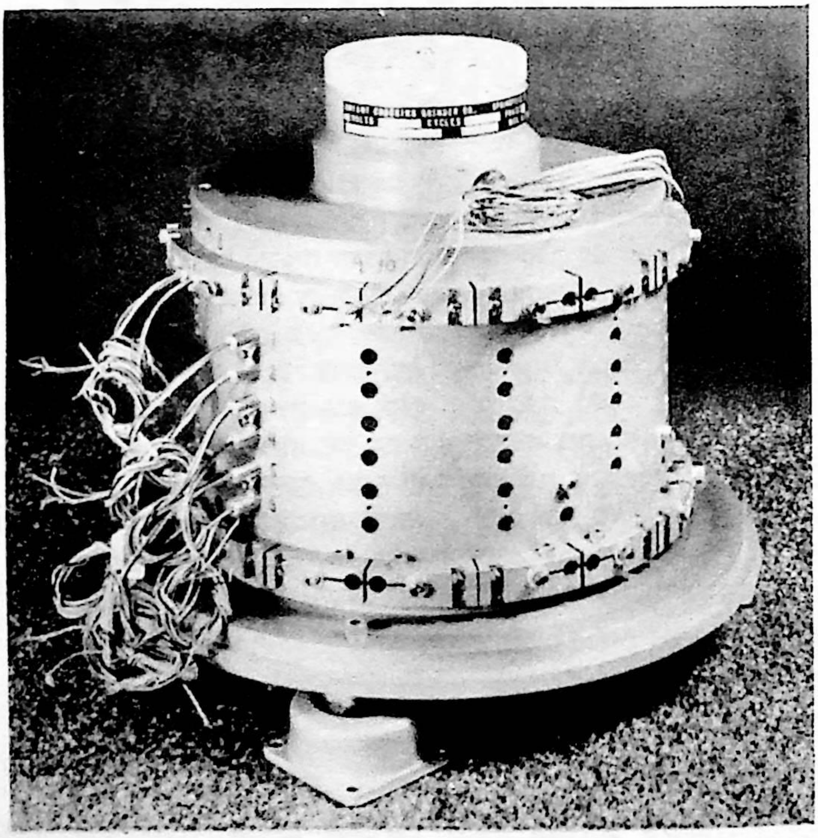
כשהם מחוברים בצורה זו, מקבלים עשרת שלבי המונה צירופים בלעדיים של מצבי 0 ו־1 עם כל פעימה של מסלול הקצב שעל התוף. כדי לפנות למקום אחסון מסוים, יוצר המחשב סמל מתאים למקום המבוקש. כאשר סמל זה זהה עם תוכנו של מונה מסלול הקצב, מושג המקום המבוקש.



ציור 17—7. תוף סגור מראה כיצד מותקנים ראשי כתיבה־קריאה. חורי הראשים נקבעים בצורה ספירלית, כדי ליצור בין הראשים רווחים המתאימים לרוחב המסלולים. הראשים בראש התוף קשורים למונה סחרחר (recirculating register)

רישום במקביל ורישום בצעדים

כדי להבטיח זיהוי מדויק של פעימת קצב, נרשמים לעיתים מסלולי קצב נוספים משניים, המכילים נתונים חלקיים של אינפורמצית מסלול הקצב הראשי. יש מערכות תוף בהן משתמשים במסלול קצב נוסף בעל סבית, כדי לאפשר למונה מסלול הקצב, לזהות את ההתחלה הנכונה.



ציור 18—7. תוף טיפוסי למחשב עם מנתחי זעזועים (shocks mounts) ומנוע פנימי. מהירויות תוף נפוצות נעות בין 12,000 ל־60,000 סבובים בשניה. (Bryant C.P.).

נניח שמבקשים לרשום על התוף את תוכנו של מונה בן 16 סביות בינריות. אפשר לרשום את הנתונים בשתי דרכים, בזה אחר זה או במקביל. ברישום במקביל נרשמות כל שש־עשרה הסביות בבת אחת, על 16 מסלולים באמצעות ששה־עשר ראשים. ברישום בצעדים נרשמות הסביות זו אחר זו במסלול אחד באמצעות ראש רישום אחד.

בשיטת הרישום במקביל נברר מקום האחסון על ידי תכנית המחשב, וכאשר מאותרת סבית הקצב המבוקשת מועברות כל שש עשרה הסביות במקביל ממונה האחסון הנדון, דרך מגברי הרישום וראשיהם, אל פני התוף. בשיטת הרישום בצעדים בורר המחשב את נקודת ההתחלה הרצויה ועם כל גילוי של פעימת קצב מועברת סבית אחת מהמונה לתוף.

מסלול הקצב של התוף אחראי, אם כן, לא רק לאיתורו של מקום אחסון מבוקש, אלא גם לקצב העברת האינפורמציה. תוכנו של מונה מסלול הקצב משתנה בקביעות. בכל פעם שפונה המחשב לתוף, מתבצעת פעולת רישום או קריאה, רק כאשר תוכן המונה של מסלול הקצב זהה לסמל כתובת התוף המבוקשת. המחשב עשוי לפנות לכתובת כלשהיא בדיוק ברגע שסבית הקצב המתאימה לה עוברת דרך ראש הקריאה השייך לכתובת המבוקשת. במקרה כזה הגישה למערכת הזיכרון היא מידית. לעומת זאת, יתכן גם שסבית הקצב המבוקשת כבר עברה את הראש, ואז יש לחכות לסבוב שלם של התוף. במקרה זה, זמן הגישה שוה לזמן הנדרש לסיבוב מלא של התוף. מבחינה סטטיסטית, זמן הגישה הממוצע שווה לחצי מחזור סבוב של התוף. על כל פנים יש לאפשר את קיומו של המצב הגרוע ביותר בו כל זמן גישה יהיה שווה לזמן הגישה המירבי, כלומר למחזור סיבוב מלא של התוף. כאשר תכנית המחשב מורה על קריאת נתונים, סמל הכתובת, ממנה יש לקרוא, מושווה לתוכן מונה מסלול קצב. לצורך הקריאה מחוברים הראשים לסוג אחר של מגברים. במשך הקריאה מוגברים האותות המתקבלים מהראש, באמצעות מגברים אלה, ונמסרים למעגל אלקטרוני המעביר רק סביות נבחרות של אינפורמציה לתחנות הפלט של התוף.

מוני אחסון מהירים

במקרים רבים, יש למנוע את ההשהיה הנגרמת על ידי הצורך לחכות עד שהתוף ישלים סיבוב מלא. כדי למנוע השהיות כאלה משתמשים במונים סחרחרים (revolver loops או recirculating registers). על־ידי ריווח מדויק של נתונים של רשומת אינפורמציה אחת ושל ראש

קריאה אחד על מסלול רגיל, אפשר לסחרר (recirculate) סדרת סביות בתדירות הקצב הבסיסית. במילים אחרות, המלה, או המילים, שיש לאחסן בזיכרון מהיר זה, נרשמת בצעדים על ידי ראש הרשומה, בדרך הרגילה. הסבית שנרשמה ראשונה מגיעה לראש הקריאה ברגע שהסתיים רישומה של הסבית האחרונה. האינפורמציה הנקלטת על ידי ראש הקריאה מנותבת באמצעות מגברים מיוחדים בחזרה לאותו ראש רשומה, וזה מזרים את האינפורמציה מחדש, בקצב הנקבע על ידי תדירות הקצב הרגילה ו„אורך" לולאת הרשומה.

מונה סחרחר דומה למונה הזזה ה„תופס את זנבו" או לזיכרון אקוסטי, אלא שהוא משלב את הפשטות והזולות של זיכרון אקוסטי יחד עם היציבות והגמישות של מונה הזזה. כאשר קורא המחשב לנתונים המאוחסנים במונה סחרחר, מחכה יחידת העיבוד של המחשב עד שהסבית הראשונה של המלה המאוחסנת מופיעה בראש הקריאה. המלה מנותבת לאחר מכן בצעדים, נתון אחר נתון, אל המקום המבוקש במערכת.

צורות רישום

רישום נתונים על תוף נעשה כמו במערכות סרטים על ידי מיגנוטי רוויה בכיוונים הפוכים כדי לציין 1 ו־0. טכניקות הרישום של חזרה לאפס ואי חזרה לאפס בהן דנו קודם, נהוגות גם כאן בצידן של שיטות רישום אחרות, אשר בחלקן מאפשרות לשפר את יעילות הדחיסה ואת המהימנות.

התופים המצויים מסוגלים להכיל מליונים אחדים של סביות. מהירויות הגישה הנפוצות הן בסביבות ½ אלפית שניה.

תוף בנוי היטב הוא אמצעי מהימן מאד לאחסון נתונים. הצורך להפעיל תופים באופן מתמיד לתקופות ארוכות הביא לבנית תופים מיוחדים, בהן החלק המסובב את התוף מרחף באויר. תופים המכילים אויר יכולים לפעול כמעט עד אין סוף ללא צורך בפעולות אחזקה.

זיכרון סרט־מגנטי

סרטים מגנטיים נידונו בפרק 6, בהקשר לתפקידיהם כהתקני קלט־פלט.

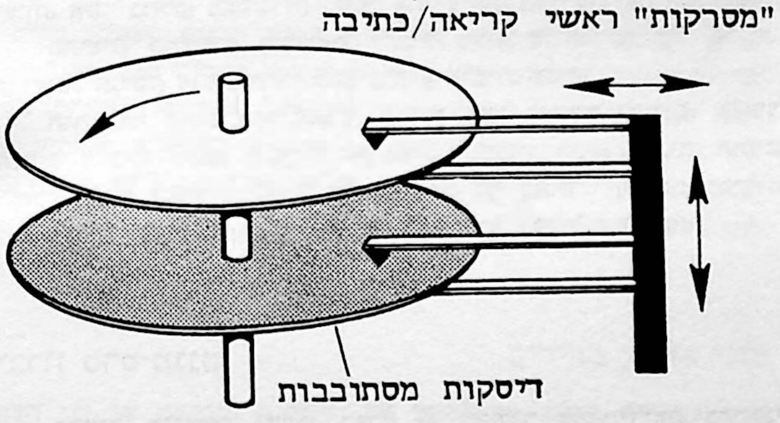
בנוסף לתפקידים אלה רב השימוש בהם כמערכות לאחסון נתונים. למערכת זיכרון של סרט מגנטי יש קיבולת גדולה יותר מאשר לתוף,

אבל הגישה לנתונים המאוחסנים בו היא, יחסית, איטית. אורכו של סליל טיפוסי של סרט מגנטי הוא 2500 רגל. אם צפיפות הדחיסה היא 200 תוים (בני 7 סביות כל אחד) לאינצ׳, יכול סרט כזה להכיל להלכה 210 מיליון סביות (6 מיליון תוים). אולם במהירות של 75 אינצ׳ לשניה נדרשות כמעט 7 דקות, כדי לעבור מקצה אחד של הסרט לקצהו האחר. אם אפשר לאחסן את הנתונים בסדר בו ישתמשו בהם אחר כך לא מתעוררת כלל בעיה של גישה לנתונים.

אחסון אינפורמציה על סרט מגנטי מתאים לשימושים, בהם תהליכי העיבוד או העידכון של אינפורמציה זו נוגעים למרבית הרשומות המאוחסנות על הסרט. לדוגמה, רשומות משכורות של עובדים כדאי לאחסן על סרט מגנטי, מפני שמדי חודש עוברות כמעט כל הרשומות תהליכי עדכון ועיבוד, כדי לחשב את המשכורות.

זיכרון דיסקות

לתופים חיסרון בולט אחד והוא, צפיפות דחיסת נתונים נמוכה. הדרך ההגיונית לתקן פגם זה הוא לחתוך את הגליל לפרוסות, להפרידן ולהשתמש בשני הצדדים של כל פרוסה לצורך רישום נתונים. זוהי בעצם הדרך בה הגיעו לזיכרון דיסקות. הדיסקות מצופות בתחמוצת



ציור 19—7. מערכת דיסקיות מאחסנת כמות גדולה יותר של אינפורמציה מאשר תוף. אפשר להתיחס אליה כאל סדרת משטחי תופים בעלי מרכז משותף.

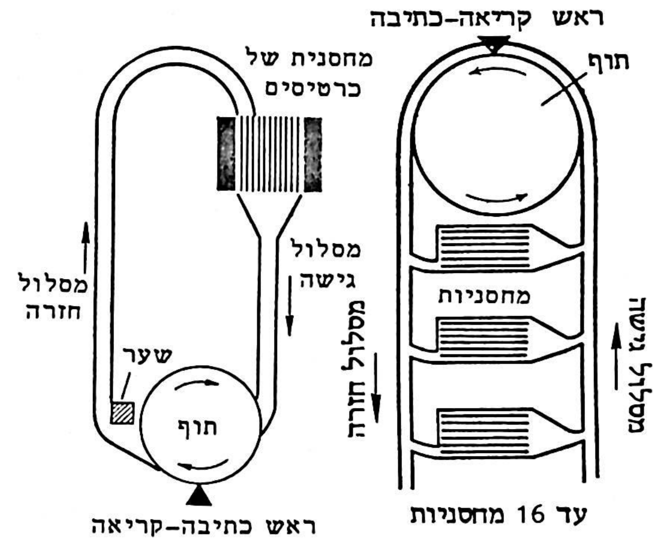
ברזל ורישום הנתונים עליהן נעשה באורח מגנטי. הן מורכבות, זו על גבי זו, על ציר, עד 24 דיסקות במערכת אחת. בין הדיסקות ישנם רווחים, המאפשרים להציב ראשי קריאה וכתיבה על פני כל משטח. הדיסקה מסתובבת סביב צירה. מהירות הסביב מגיעה במערכות מסוימות ל־8000 סבובים בדקה. קבולת האיחסון של מערכות־בודדות נעות בין 2 מיליון עד 150־100 מיליון תוים.



ציור 20—7. מערכת דיסקות חדישה (השמאלית). מערכת זו מורכבת מ־11 דיסקות מגנטיות עם 18 משטחים לרישום אינפורמציה. מערכת זו יכולה להכיל קרוב ל־26 מיליון תוים או 52 מיליון ספרות. (IBM-2314).

גישה תלת ממדית לנתונים

הדיסקות הן התקנים שהגישה אליהם היא תלת ממדית (בתופים הגישה: דו־ממדית — ברירת המסלול וברירת קטע במסלול). כדי לבור מקום מסוים, יש לבור אחד מפני הדיסקות ובו את אחד המסלולים, ובמסלול — את אחד הקטעים. שיעור העברת הנתונים אל הדיסקה וממנה, נע בדרך כלל בין 40,000 תוים לשניה ל־150,000 תוים לשניה. הזמן הנדרש לאתר מקום מסוים בהתקן הדיסקות מורכב מהזמן הדרוש לברירת המשטח, מהזמן הדרוש לברירת המסלול ומהזמן הנדרש לקטע המסוים של המסלול להגיע לראשי הקריאה והכתיבה. הזמן הנדרש לברירת המשטח נמדד באלפיות שניה. הזמן הנדרש לברירת המסלול תלוי במספר הראשים



ציור 21—7. סכימות של ציוד לקריאת כרטיסים מגנטיים. שתי המערכות מורכבות ממחסנית כרטיסים, תוף בעל ראשי קריאה וכתיבה ומסלולים לתנועת כרטיסים. ההבדל בין שתי המערכות הוא במספר המחסניות הקשורות ישירות למערכת, ובניידות של ראשי הקריאה והכתיבה. בימנית יש מספר מחסניות (עד 16) והראש נייד (מערכת RACE של חברת RCA) ובשמאלית מחסנית אחת וראש קבוע של NCR (CRAM).

הניתנים לכל משטח. אלו היו למשטח ראשים כמספר המסלולים אפשר היה למדוד זמן זה במליונית שניה. במציאות ישנם ראשים ספורים לכל משטח, שהכוונתם למסלולים נעשית באופן מיכני. זמן איתור המסלול נמדד, איפוא, באלפיות שניה ונע בין 5 ל־250 אלפיות שניה. ברור שכדי לעבור ממסלול אחד למסלול סמוך נדרש פחות זמן מאשר לעבור ממסלול קיצוני אחד למסלול הקיצוני האחר. הזמן הנדרש לקטע המסלול להגיע לראש, תלוי במהירות הסבוב של המערכת ומשתנה מ־0 עד 50 אלפיות שניה (סבוב מלא). גם בדיסקות כמו בתוף מחולקים המסלולים לחטיבות של נתונים.

בדיסקות אפשר לאחסן יותר אינפורמציה מאשר בתופים בעלי אותו נפח אחסון. אפשר להתיחס לדיסקות כאל סדרה של משטחים היקפיים של תופים בעלי ציר מרכזי משותף.

מבנה פני הדיסקה

כל משטח מחולק למספר מסוים של מסלולים מעגליים בעלי מרכז משותף (בדרך כלל 100 עד 300). הצבת ראשים על פני המשטח יכולה להיעשות בשלוש דרכים. אפשר להציב ראש אחד בשביל כל המשטח, על זרוע המסוגלת להגיע לכל מסלול. סידור זה הוא זול אבל איטי.

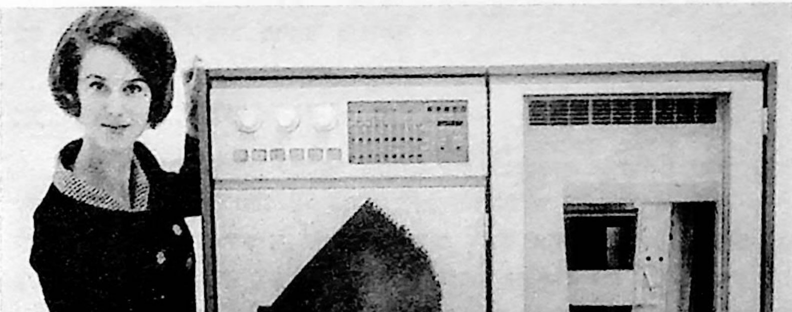
שיטה שניה היא לתת למשטח מספר ראשים. הראשים מוצבים על זרוע באופן כזה, שכל אחד מכסה קבוצת מסלולים. סידור זה יקר יותר אולם יותר מהיר. השיטה השלישית היא להציב ראש מעל לכל מסלול. בשיטה זו הזרוע עליה מוצבים הראשיים קבועה. זוהי השיטה המהירה ביותר אך גם היקרה ביותר. היא דומה מהרבה בחינות לתוף.

לדיסקית יש תכונה חשובה אחת המתבטאת במושג של „גליל דיסקה". אפשר להתיחס למערכת דיסקות כאל מערכת גלילים בעל מרכז משותף (נתונים זה בתוך זה). הזרועות מחוברות לציר אחד ויוצרות עמו צורה של מסרק. עם הפעלה של ראש מסוים נעות אתו כל הזרועות פנימה או החוצה. במלים אחרות, כאשר מכוון ראש כלשהו למסלול מסוים יימצאו כל הראשים האחרים במסלולים מקבילים למסלול הנבחר. אפשר להפיק מתכונה זו תועלת רבה, אולם היא גם עלולה להציב מכשולים.

כרטיסים מגנטיים

אילו אפשר היה לעטות תוף בכרטיס המצופה בתחמוצת ברזל ולסובב את הכרטיס במהירות התוף, הרי ניתן היה לאחסן מספר כרטיסים, בצד,

ולהשתמש כל פעם בכרטיס הדרוש. מחשבה זאת היא הרחבת הרעיון של פריסת התוף לפרוסות. נוסף לחיתוך היא מציעה לעטוף כל פרוסה בכמה שכבות. מצויים התקנים ספורים המגשימים מחשבה זו הלכה למעשה. (ראה ציור 21—7). על הכרטיס מוטבעים מסלולים של חומר מגנטי. כאשר הכרטיס נמצא על התוף הוא מופעל על ידי ראשי קריאה וכתיבה. בהתקנים אחדים הראשים קבועים ובאחרים — נעים לרוחב הכרטיס. הכרטיסים מוחזקים במחסניות, אחת או אחדות לכל מערכת. קיבולת האחסון של כרטיס בודד נעה בין 21,700 תוים בכרטיס מסוג מסוים ל־166,400 תוים בכרטיס מסוג אחר. מחסנית מכילה 256 כרטיסים ומסוגלת לאחסן מ־5,5 מיליון תוים במערכת אחת עד 42,6 מיליון



ציור 22—7. יחידת CRAM החדשה 353—5 המאחסנת 124 מיליון ספרות למחשבי נ.סי.ר. — 315.

תוים במערכת אחרת. שחרור הכרטיס מהמחסנית והבאתו לראשי הקריאה והכתיבה היא פעולה אלקטרו־מכנית הנמשכת מ־150 עד 390 אלפיות שניה. (ראה ציור 22—7). התוף משלים סבוב אחד במשך 40 או 60 אלפיות שניה, אולם כשליש מזמן זה מבוזבז מפני שהכרטיס אינו מכסה את כל התוף. משך ההחזרה של כרטיס למחסנית אינו חשוב מכיון שהוא אינו מעכב את המשך הפעולה של המערכת (ראה ציור 21—7). המאפיין החשוב ביותר של מערכת כרטיסים מגנטיים, המבחין אותה מתופים ומדיסקות, הוא אי־הצמידות של התקן האיחסון (הכרטיסים המגנטיים) להתקן הקריאה והכתיבה. אפשר להחליף מחסניות בפחות מדקה אחת. פירוש הדבר שבאמצעות מערכת קריאה וכתיבה אחת אפשר לעבד קבצים רבים ושונים של אינפורמציה. מבחינה זאת דומה מערכת כרטיסים מגנטיים לכונן סרט מגנטי. גם בכונן אפשר להחליף סרטים. ההבדל העיקרי ביניהם (מלבד הבדלים בשיטות וטכניקות) הוא שכרטיסים מגנטיים מאפשרים גישה כמעט ישירה לאינפורמציה המצויה בכרטיס כלשהוא על מסלול כלשהו, בעוד שבסרט יש לעבור על פני כל האינפורמציה, הקודמת לאינפורמציה המבוקשת.

8

מחשבים אנלוגיים

התכונה המאפינת ביותר את המחשב האנלוגי היא טבעה הרצוף של הדרך בה הוא פותר בעיות. באמצעות מחשב אנלוגי מדמים תופעות פיזיקליות. הדימוי (simulation) נעשה באמצעות אנלוגים חשמליים או אלקטרוניים. יחסי הגומלין בין האנלוגים נקבעים על ידי התכניתן, במתכונת המשקפת את התופעות המשפיעות על מערכת פיזיקלית ואת ההשלכות שיש לתופעות על כל חלקי המערכת.

כדי להמחיש את אופן הדימוי נעיין בדוגמה הבאה. רובה מוצב על שיאה של גבעה. בזמן מסוים יורה הרובה. מסלול הקליע מושפע על ידי כמה גורמים: זוית ההגבהה של הרובה, כוח המשיכה של האדמה, מידת החום, כיוון הרוח ומהירותה, צורת הקליע, הסוג והכמות של כוח הדחיפה של הרובה, מצב הקנה של הרובה וגובה הרובה מעל פני הקרקע. לכל הגורמים האלה אפשר לתת דימוי אלקטרוני.

אנלוגיות אלקטרוניות

במחשב אנלוגי, מאפשרים יחסי הגומלין בין האנלוגיות האלקטרוניות השונות, לחשב כל אינפורמציה הנוגעת למסלול התעופה של הקליע. לדוגמה, מבקשים לדעת לאיזה גובה יגיע הקליע לפני שיתחיל לרדת. או אולי חשוב לדעת לאיזה מרחקים יגיע הקליע בזויות הגבהה שונות וכוחות דחיפה שונים של הרובה. באופן כללי, מבקשים לחשב את ההשפעות שיש למערכות שונות של תנאים על פעולת הירי. המחשב האנלוגי אינו מיצר מספרים כשם שעושה המחשב הספרתי. ברב המקרים

מיצר המחשב האנלוגי את תוצאות חישוביו בצורת גרפים. בדוגמה של הרובה שתארנו, עשוי המחשב להשתמש במתווה (plotter) הגרפים שלו, כדי לשרטט עקום של מסלול התעופה של הקליע. במקרה כזה, הציר האנכי של העקום ייצג גובה והציר האפקי ייצג זמן. מכיון ששני פרמטרים אלה נמצאים במחשב במשך הדימוי של ירית קליע, יכול ציוד התויה של המחשב ל„התבונן" בהם כדי לשרטט את העקום. ציור 1—8 מראה מתוה פלט טיפוסי למחשב אנלוגי.

חישובים בזמן ממשי (REAL TIME)

ברוב השימושים, מופעלים המחשבים האנלוגיים בזמן ממשי. פירוש הדבר שמשך זמן החישוב שווה למשך הזמן של המאורע אותו הם מדמים. אילו יכולנו להציג באופן חזותי (ולמעשה קימים התקנים כאלה במערכות מחשבים אנלוגיים) את האנלוג של גובה הקליע במחשב, היינו רואים בתחילה מתח מתאים לגובהו הראשוני של הקליע, כלומר לגובה הרובה. נניח כי בעת היריה מכוון קנה הרובה כלפי מעלה. אנלוג המתח יעלה במהירות אך בהדרגה, ויגיע עד לערך המייצג את שיא מעופו של הקליע. המתח יתחיל, לאחר מכן, לרדת בציינו כי הקליע



ציור 1—8. התקן הפלט הנפוץ ביותר של מחשב אנלוגי הוא מתוה עקומים x-y, המראה באופן חזותי גדלים של פָּרָמֶטֶר אחד ביחס לערכים משתנים של פרמטר אחר.

נופל. המתח ממשיך לרדת לאור העובדה שהקליע מושפע על ידי כוח המשיכה. במקום אחר במחשב ישנו מתח אנלוגי למהירות הקליע והוא, בוודאי, מראה באיזו מהירות מאבד הקליע גובה. היחסים בין כל האנלוגיות האלקטרוניות זהים ליחסים בין המקבילים הפיזיקליים שלהן.

שימוש מקובל אחר במחשבים אנלוגיים הוא חקר מערכות מיכניות מסובכות. במערכות טיפוסיות פועלים כוחות ומסות שהיחסים ביניהם מוגדרים על ידי תופעות פיזיקליות כמו מתיחות קפיץ, התמדה, תאוצה, עמדה ואחרות (ראה ציור 2—8).

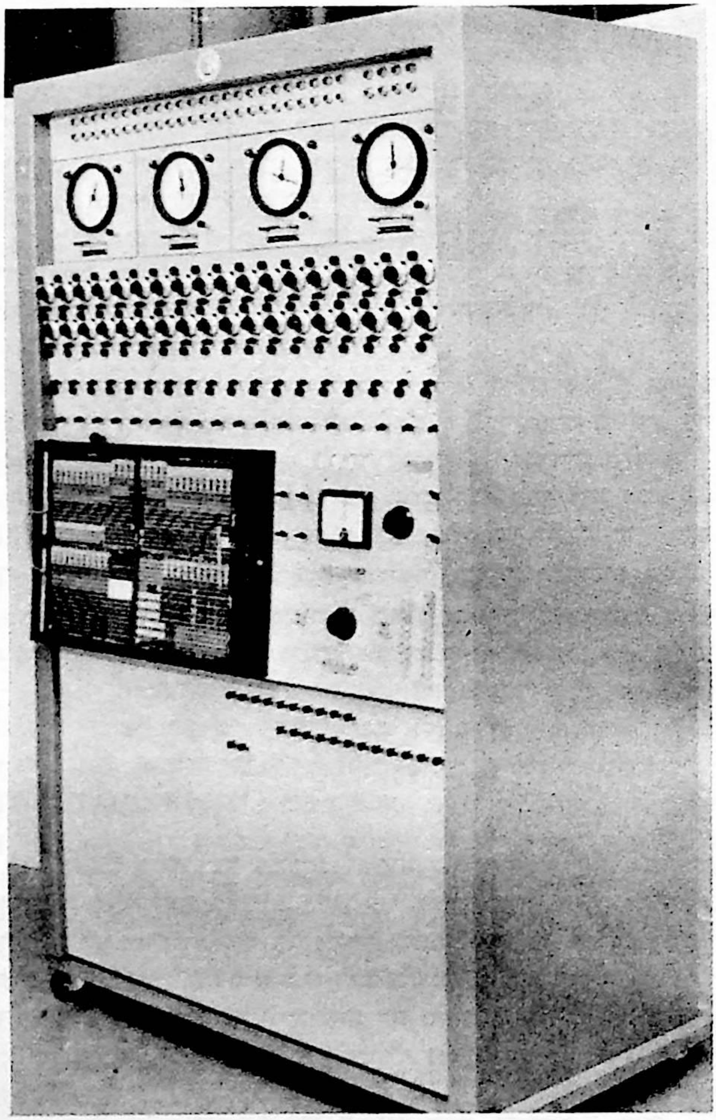
משתנים עצמאיים ומשתנים תלויים

במחקר טיפוסי, גורם התכניתן של מחשב אנלוגי להשתנותו של פרמטר אחד בתחום נבחר של ערכים אפשריים. פרמטר זה נקרא משתנה עצמאי. לעיתים די קרובות המשתנה העצמאי הוא זמן. כמו בדוגמה של הרובה, הקליע נורה והתוצאות מוצגות ביחס לתקופת זמן, שערכיה נקבעים על ידי התכניתן. האנלוגים האלקטרוניים הרציפים של הפר־מטרים שאינם עצמאיים, מראים כמויות מסוימות ביחס לזמן. לדוגמה התכניתן יכול להשתמש במד מתח כדי לקרא את גובה הקליע. בדרך כלל יעדיף התכניתן להשתמש בהתקן הרושם את תולדות התופעה. מהתקן כזה אפשר לקבל רישום רצוף של גובה ביחס לזמן, ולאחר מכן לקבוע את הגובה בכל נקודת זמן מבוקשת, על ידי מדידת הגובה של העקום בנקודות אלה.

הפרמטרים מהסוג השני נקראים איפוא, באופן הגיוני, משתנים תלויים, מכיון שהשתנות ערכיהם תלויה בערכים של המשתנה העצמאי. לתכניתן יש שליטה על הערכים של המשתנה העצמאי. הוא יכול לקבוע ולתקן את ערכיו של המשתנה העצמאי באופן ידני. בכל פעם שהוא עושה זאת מופיעים ערכים מתאימים של המשתנה התלוי, הניתנים למדידה.

מגברי תיפעול

הסוג הנפוץ ביותר של מחשבים אנלוגיים למטרות כלליות מכיל מגבר אלקטרוני, יציב באופן מיוחד, או מגברים אחדים כאלה. מטבע הדברים שתפקידו של מגבר להגביר, אולם אין זה תפקידו העיקרי



ציור 2—8. מחשב אנלוגי מסחרי טיפוסי. ארבעה המדים העליונים קשורים בכפולי־סרבו. מיד מתחתיהם ישנם שלושים וששה פוטנציומטרים שהגישה אליהם נעשית באמצעות לוח הבקרה. לוח הבקרה (משמאל) מאפשר למפעיל לתכנת את המחשב כדי לפתור בעיות מיוחדות (תצלום מכשיר של חב׳ Computer Systems).

במחשבים אנלוגיים. התכלית העיקרית של מגבר של מחשב אנלוגי, הנקרא מגבר תיפעולי (operational amplifier), היא לפעול כהתקן קישור פנימי. למגבר תיפעולי ממוצע יש קלטים אחדים ומתח הפלט שלו נמצא ביחס ישר לסכום המתחים הנמסרים לקלטים.

המשפט האחרון מצביע על דרך אחת בה משתמשים במגברים תיפעוליים. הם יכולים לחבר, ומכיון שאפשר למסור להם גם מתחים חיוביים וגם מתחים שליליים הם יכולים גם לחסר.

מגברים תיפעוליים של מחשבים אנלוגיים חייבים להיות בעלי יציבות ודיוק הגברה רבים מאד. פירוש הדבר שאם נדרשת מהמגבר הגברה בערך של אחד (מתח הפלט שוה למתח הקלט), עליו לתת מתח פלט קרוב ככל האפשר למתח הקלט.

בנוסף לזה, מעגלי הקלט שלהם צריכים להיות בנויים כך, שלא ישפיעו על פעולות המעגלים המזינים אותם. מעגלי הפלט צריכים להיות בנויים כך, שכמעט לא יושפעו על ידי המעגלים הקשורים להם.

עם שינויים קלים יכול מגבר תפעולי למלא תפקידים נוספים כמו סכימה (integration). חשיבות תכונה זו תתברר במהרה. שימושו הנרחב ביותר של המחשב האנלוגי, הוא בפתרון בעיות הכרוכות במשוואות דיפרנציאליות. פתרונן של משוואות כאלה באופן ידני דורש מיומנות רבה, והוא בדרך כלל מסובך ודורש זמן רב.

נגזרות בחישוב אַנלוגי

כדי לקבל מושג על נגזרות ומשוואות דיפרנציאליות הבה נבחן כמה תופעות פיזיקליות מוכרות. ידוע לנו שהמיל הוא יחידת מהחק. כמו כן מוכרות לנו יחידות כמו רגל, ירד, מטר, ואחרות. הודות לקשרינו ההדוקים עם מכוניות, מטוסים וכלי רכב אחרים, מוכרת לנו גם הנגזרת הראשונה של מרחק. אנו קוראים לה מהירות. מהירות היא שיעור השינוי של מרחק. אנו אומרים כי המכונית נוסעת בשיעור של 60 מילים לשעה.

אם שואל מישהו איזה מרחק תעבור המכונית במשך שעה אחת אנו מיד משיבים לו — 60 מילים. במתן התשובה אנו פותרים משואה דיפרנ־ציאלית מסוג מסוים. נעשה צעד נוסף בתחום הנגזרות ונשאל: איזה שם אנו יכולים לתת לשיעור השינוי של שיעור השינוי של מרחק? השאלה נשמעת קשה, אם כי התשובה לה היא מונח בו אנו משתמשים כל יום. זוהי

הנגזרת השניה של מרחק הקרויה תאוצה.

כאשר אנו אומרים „הגבר את המהירות" או „האט" אותה, אנו מתכוונים להגדלה או הקטנה של שיעור הנסיעה של המכונית, כלומר של מהירותה.

אילו אמרו לנו כי המכונית הואצה בשיעור של 60 מיל לשעה, לשעה, היינו יכולים לחשב את המהירות בכל רגע, בתנאי שהיינו יודעים את המהירות ההתחלתית של המכונית. אילו ידענו גם את שעת היציאה היינו יכולים לחשב גם את המרחק שהמכונית עברה מנקודת היציאה, בכל זמן נתון. בפתרון בעיות כאלה אנו פותרים משואות דיפרנציאליות מהמעלה השניה.

סכימה

הבה נראה כיצד יכול מחשב אנלוגי לעזור בביצוע חישובים כאלה. על השאלה: „מה המרחק שהמכונית עברה בשעה אם היא נוסעת במהירות של 60 מיל לשעה" אנו משיבים מיד 60 מיל. למעשה אנו מבצעים תהליך של סכימה (integration). כדי לעשות זאת באופן אלקטרוני אנו צריכים ליצר כמות חשמלית שתקביל באופן רצוף למהירות, ואשר אפשר יהיה לצבור או לסכום אותה במשך תקופת זמן מבוקשת. בכל פרקי הזמן של החישוב, תקביל כמות זאת למרחק שהמכונית עברה.

הקלט למגבר הסכום הוא מתח מקביל לשיעור השינוי של הכמות ביחס לזמן. הפלט הוא מתח מקביל לכמות עצמה ומשתנה בקביעות כאשר הקלט שונה מאפס. כדי ליחס תאוצה למרחק, צריך לבצע סכימה כפולה. דבר זה מושג בקלות על ידי חיבור שני סוכמים (integrators) בטור. אות מקביל לתאוצה מוגש לסוכם הראשון. הפלט של הסוכם הראשון מקביל למהירות ויכול להימסר לסוכם השני, שהפלט שלו מייצג מרחק.

כפל אנלוגי

מחשבים אנלוגיים מבצעים כפל וחילוק בשתי שיטות שונות. שיטה אחת משתמשת במערכת אלקטרומיכנית המורכבת מרכיבים מדויקים. רכיבים אלה קרויים כופלים מסתייעים (servo multipliers), מתחים מקבילים לשתי הכמויות הנכפלות נמסרים לתחנות קלט מתאימות והמכפלה מופיעה (באיחור מסוים) בתחנת הפלט. הפלט משתהה בגלל ההתמדה המיכנית של המערכת.

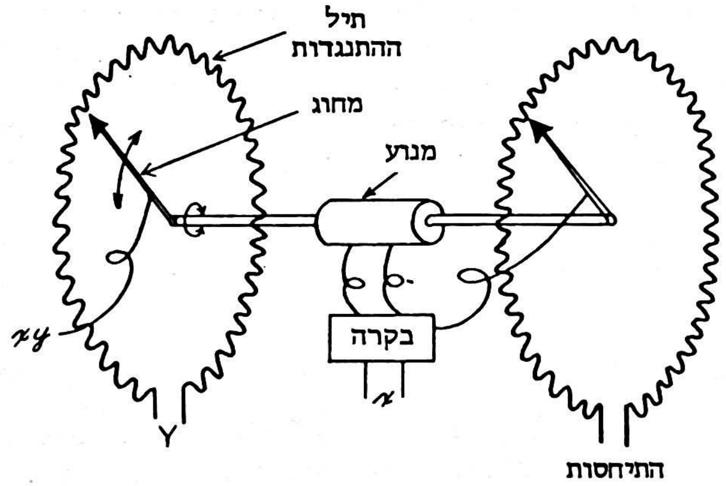
תרשים מפושט של כופל מסתיע מוצג בציור 3—8. מקומו של מחוג הפוטנציומטר נקבע על ידי אחת הכמויות הנכפלות. הכמות האחרת נמסרת לקצה הנגד של הפוטנציומטר.

המתח המופיע על המחוג מייצג את המכפלה של שתי הכמויות. אם הקלט הראשון גדל, המחוג זז אל עבר קצה הנגד שמתחו גבוה וגורם להגדלת הפלט. הגדלת הקלט השני גורמת להגדלת הפלט על ידי העלאת המתח הנמסר לנגד.

הסוג השני של כופל מושתת על טכניקות אלקטרוניות והוא הרבה יותר מהיר. על כל פנים, כפי שאפשר לצפות, יש לשלם בשביל מהירות זו הן במורכבות והן במחיר, ובמקרה זה גם ברמת הדיוק.

מחולל פונקציות

בעיות אנלוגיות כרוכות לעיתים ביחסים שקשה לבטאם במונחים של נוסחה או משואה, או על ידי כפל, חילוק, חיבור וחיסור פשוטים. בעיות



ציור 3—8. התקן נפוץ במערכות מחשבים אנלוגיים הוא הכופל המסתייע. מתחים מקבילים ל־x ול־y נמסרים לקלטים והפלט מקביל למכפלת שניהם.

כאלה נפתרות בעזרת מחולל פונקציות. למחולל פונקציות מקובל יש תחנות קלט ותחנת פלט. אות הנמסר לקלט גורם להופעת אות בפלט, בהתאם ליחס המסוים המציין את התופעה. במקרים מסוימים נדמה כאלו אין כל יחס בין הפלט והקלט. היחס בין הקלט והפלט מבוקר על ידי התכניתן והוא מתוקן ביד בהתאם לאינפורמציה מחושבת או אינפורמציה הנובעת מנסיון.

לדוגמה, מידות חום נמדדות לעיתים קרובות על ידי שימוש בצמדים חומניים (thermocouples). צמד חומני יכול ליצור מתח כאשר מחממים אותו. באופן כללי עם עלית החום, עולה המתח, אבל היחס בין חום ומתח אינו קוי. כמו כן, היחסים בין שתי התופעות אינם כאלה שאפשר לקבל אחד מהאחר באמצעות נוסחה פשוטה. (כלומר אם אלפית וולט מייצגת 100 מעלות, 2 אלפיות וולט אינן בהכרח מיצגות 200 מעלות, וכך הלאה).

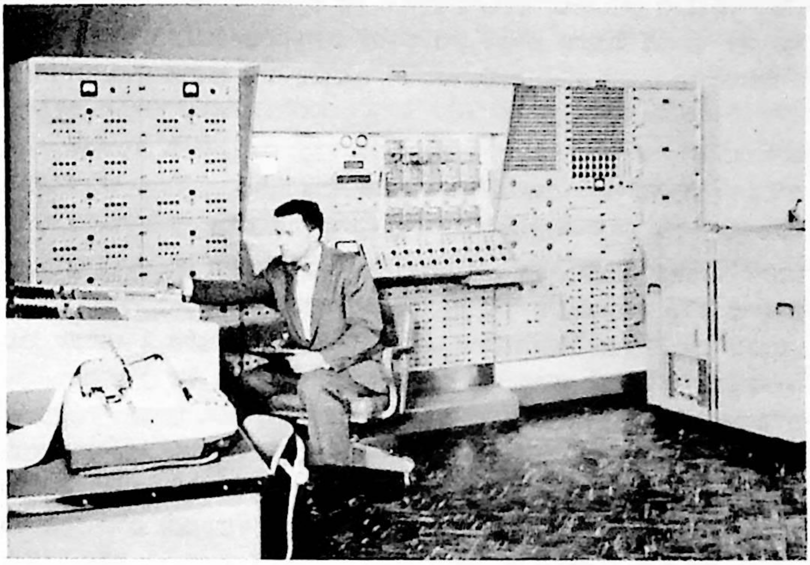
המפעיל של המחשב הנתקל ביחס כזה פונה לעקומים המסופקים לו על ידי יצרני צמדים חומניים. העקומים מראים דרגות חום מעשיות לכל ערך של מתח. (ראה ציור 4—8). התכניתן משתמש באינפורמציה זו להפעלת מחולל פונקציות. לאחר שהפונקציה המבוקשת נקבעה, יגרום כל אות קלט (המקביל למתח של צמד חומני) לאות פלט אשר מקביל למידת חום.

ישנם סוגים שונים של מחוללי פונקציות. כולם מייצגים פשרות בין מהירות ודיוק. הסוג השכיח ביותר נקרא מחולל פונקציות דיאודי. התקן זה שובר את אות הקלט לחלקים. לגבי כל שבר מתח נמסרת לקלט סדרת כיוונונים, כדי לקבל את הפלט המבוקש. על ידי כיוונון הפוטנציומטרים יכול התכניתן להציב גבול בין חלקי המתח וכן להתאים את דרגת השינוי הנמסרת לגבי כל חלק.

מחולל פונקציות אלקטרו מכני

סוג אחר של מחולל פונקציות מורכב מהתקן התויה אלקטרו מיכני היוצר פונקציות רצוניות. פני השולחן של ההתקן מכוסים בניר עליו מסומנים שני צירים x ו־y. על כל ציר מסומנים הגדלים המתאימים לו. את היחס בין שני הפרמטרים אפשר לבטא בעקום. את העקום מתוים בדיו מוליכה (דיו המסוגלת להוליך זרם חשמלי).

נניח כי x הוא המשתנה העצמאי, כלומר הקלט המבוקר על ידי התכניתן או על ידי המחשב. כדי למצוא את ערכי y של העקום, בוררים ערכים ל־x ונעים בכיוון אנכי, מהערכים הנבחרים של x, עד שפוגעים



ציור 4—8. מתקן טפוסי של מחשב אנלוגי מראה תכניתן העוקב אחר המתווה, כאשר המחשב פותר בעיה שתוכנתה באמצעות לוח התיכנות (Patch panel) שבמרכז לוח חבקרה הראשי (console). תצלום של מתקן מחב' Electronic Associates Inc.).

בעקום. מנקודת המפגש עם העקום נעים בכיוון אפקי אל ציר y, בו קוראים את ערכי y המתאימים לערכי x.

אפשר לבצע פעולה זו באופן אלקטרוני. על ידי הפעלה אלקטרונית תקבלנה תחנות הפלט, ברציפות, ערכים של y בהתאם לערכים של x שנמסרו לתחנת הקלט.

פעולתו של מחולל פונקציות, העוקב אחר עקומים, מיוסדת על טכניקות הסתייעות (servo) אלקטרוניות ואלקטרומיכניות.

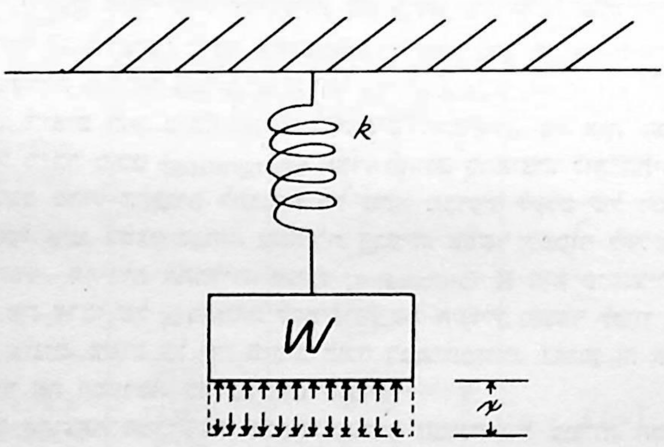
הראש הקורא את העקום מופעל על ידי שתי מערכות הצבה. מערכת אחת פועלת בכיוון אפקי והשניה — בכיוון אנכי. בתחילה מוצב הראש בכיוון אפקי, המקביל לציר x, ונע אל עבר נקודה מקבילה לערך נבחר של x. התנועה האנכית של הראש מבוקרת על ידי מערכת ההצבה השניה אשר חדלה לפעול, כאשר נוגע הראש בדיו המוליכה של העקום. בפלט נוצר מתח מקביל להעתקה (displacement) האנכית של הראש.

למערכת זו יש יתרון, ביכולתה ליצור פונקציות שונות, בשביל פונקציות משתנות, באמצעים פשוטים יחסית ובדרגת פיתרון גבוהה. חסרונה טמון בהתמדה המיכנית של החלקים הנעים, המגבילה מהירות ההתקן.

מחשבים אנלוגיים משמשים לעיבוד נתונים ממקורות חיצוניים או לעיבוד נתונים מוזנים באופן ידני. בשימוש השני נקבעים היחסים בין האנלוגיות החשמליות באמצעות לוח תיכנות (patch panel).

בעיה טיפוסית ופתרונה

לוח תיכנות מכיל אמצעים לחבור מגברים שונים למערכת אחת. נוסף לזה הוא משמש לקביעת התנאים ההתחליים של בעיה מסוימת. כדי לתאר את אופן השימוש בתנאים התחליים ובלוח התיכנות, נבחן מערכת מיכנית פשוטה המתוארת בציור 5—8. מערכת זאת מורכבת



ציור 5—8. מערכת מיכנית פשוטה מורכבת מקפיץ ומשקל. באמצעות טכניקות של מחשב אנלוגי, אפשר לנתח בשלמות מערכת מכנית פשוטה המורכבת מקפיץ ומשקל. תרשים מלבני המראה את היחסים בין הפרמטרים מוצג בציור 7—8.

ממשקל W תלוי בתקרה קבועה, באמצעות קפיץ. קבוע הקפיציות של הקפיץ הוא k. הנוסחה המקשרת את הפרמטרים השונים של המערכת היא משואה דפרנציאלית מהמעלה השניה.

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -kx$$

משואה זו אומרת שאם המשקל מועתק למרחק x (מהנקודה בה המערכת מגיעה למנוחה, אם ניתן לה זמן מספיק לכך) תתיחסנה העמדות הבאות של המשקל, (ערכים של x) לפרמטר הזמן, באותו יחס.

באופן אינטואטיבי, היינו מצפים שהמשקל יקפוץ מעלה ומטה, או יתנדנד, כשתנודותיו הולכות וקטנות עד שהמערכת מגיעה למנוחה. פתרון הבעיה יאשר צפיה זאת. הפיתרון יכול להיעשות באופן ידני על־ידי הצבת ערכים שונים של t (זמן) במשואה והתוית התוצאה בעקום. בפיתרון הבעיה במחשב נוצרים בפלט, באופן אוטומטי, ערכים רצופים של x, כאשר t גדל מאפס עד לזמן הנדרש למערכת להגיע לאיזון.

סמלים של מחשב אנלוגי

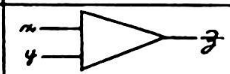
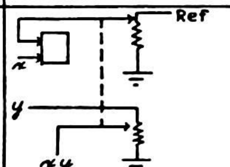
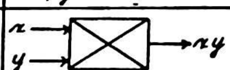
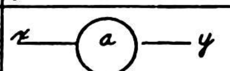
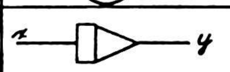
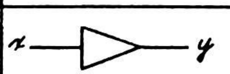
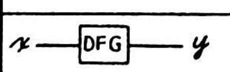
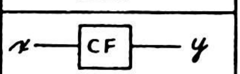
ציור 8—6 מראה את הסמלים הנהוגים לזיהוי הרכיבים של מחשב אנלוגי, יחד עם המשוואות המתארות את היחס בין קלט ופלט של כל התקן. ציור 8—7 מראה כיצד מחשב אנלוגי פותר את הבעיה שהודגמה על ידי מערכת מיכנית בציור 8—5.

אנו רואים כאן כיצד נקבעים תנאים התחליים. כל אות המוגש לקלט של מגבר סוכם (integrating) אחד, תורגם כתאוצה. לוח התיכנות של המחשב מכיל התקנים להכנסת כל מתח מבוקש לקלט של הסוכם. אם המשקל אינו במצב מנוחה בתחילת הבעיה, אפשר למסור לקלט של הסכום השני, מהירות התחלית. מנחת (attenuator) K הוא פוטנציומטר המפחית את ערכו של x בהתאם לקפיציות של הקפיץ. אפשר לכוון אותו לערכים שונים, פשוט על ידי סיבוב חוגה רבת־תפניות. באופן זה אפשר גם לחקור את המערכת עם קפיצים שונים.

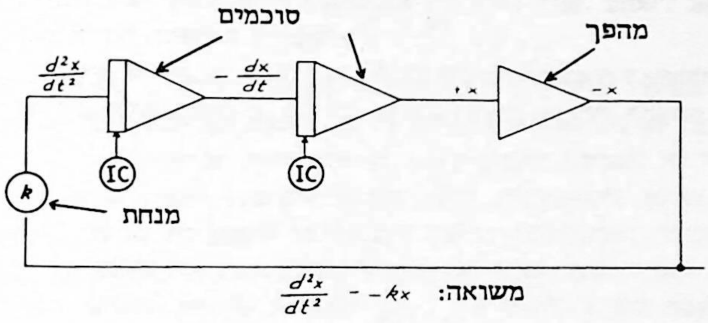
אם התוצאה המבוקשת מבעיה זו היא תמונה של עמדות המשקל מההתחלה, עד שהמערכת מגיעה למנוחה, אפשר לחבר רשם, לאחד הקוים המסומנים ב־x. (ראה ציור 8—7). ניר התרשים יוכנס לתנועה לפני שהבעיה מתחוללת. בהתחלת הבעיה שווה מצב העט למצב התחלי של x, כאשר המשקל המשוחרר (במונחים אלקטרוניים) x יורד לאפס

(איזון). במערכת המיכנית, האינרציה של המשקל גורמת לסימן הערך של x להשתנות, כלומר, המשקל עובר דרך נקודת האיזון לתחום שלילי, עד אשר כוח המשיכה של האדמה או מתיחות הקפיץ גורמים לתנועה חוזרה. העט יוצר עקום מחזורי (סינוסואידי) ביחס לזמן, בתארו את כל ההיסטוריה של המערכת ביחס לזמן.

בסוגים אחדים של מחשבים אנלוגיים מוצגות התוצאות באוסילוסקופ הדומה לשפופרת טלביזיה. בסוגים כאלה, הבעיה נפתרת למעשה שוב

תיפקוד	אנלוגים אלקטרוניים		
	היחידה	הסמל	המשוואה
חיבור או חיסור	מסכם		$z = -(x+y)$
כפל או חילוק	סֶרְבוֹ		$z = xy$
	אלקטרוני		
הכפלה במקדם	מנחת		$y = ax$
סכימה	סוכם		$y = -\int x\,dt$
הפיכה	מהפך		$y = -x$
מחולל פונקציות	מחולל פונקציות דיאודי		$y = f(x)$
	קורא עקומים		

ציור 6—8. סמלים טיפוסיים לתיאור בעיות של מחשב אנלוגי.

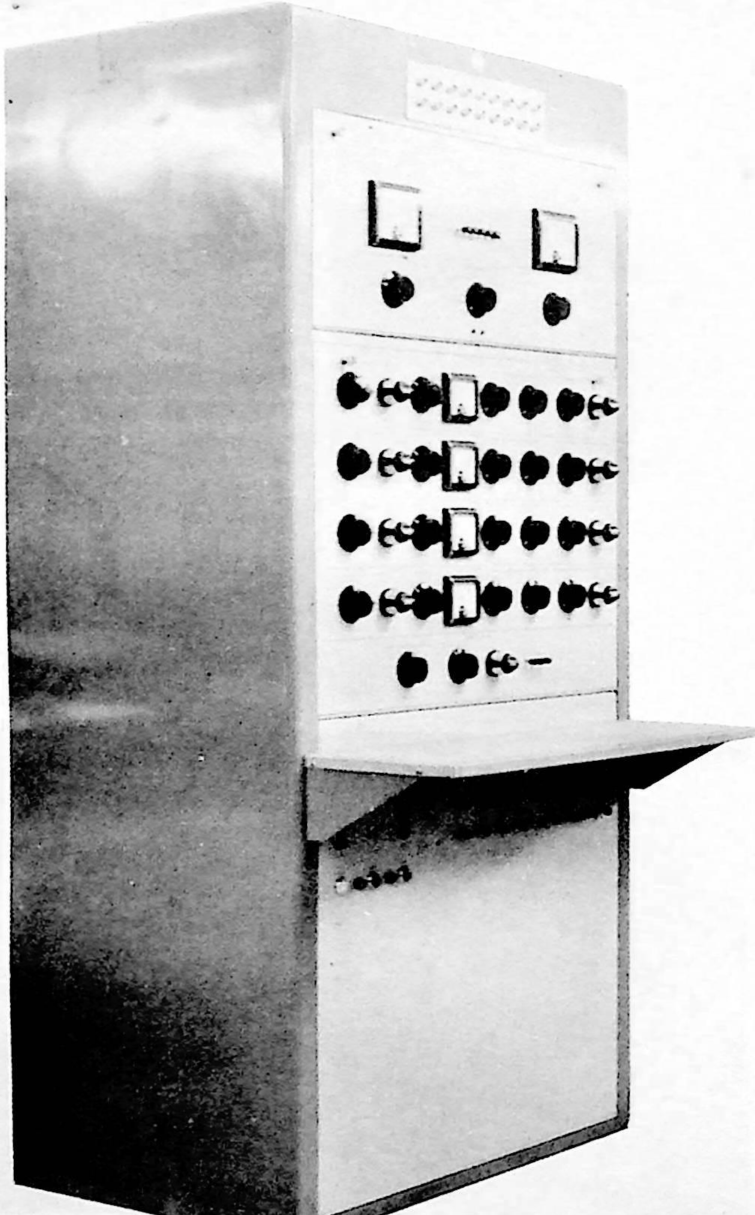


ציור 7—8. הדרך בה פותר מחשב אנלוגי בעיות הנוגעות למערכת מיכנית פשוטה, המתוארת בציור 6—8. המעגלים המסומנים באותיות IC משמשים לקביעת המצבים ההתחליים, לדוגמה, אם למשקל יש תאוצה או מהירות מוגבלת, כאשר הבעיה מתחילה להתחולל.

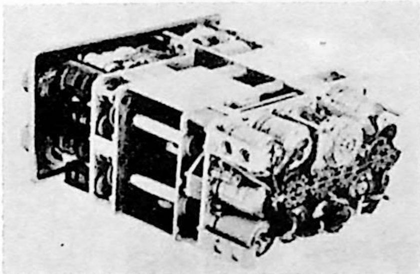
ושוב, בקצב כה מהיר שהעקום המותווה על ידי האוסילוסקופ נראה כקו רציף. לשיטה זו של חישוב אנלוגי יש כמה יתרונות. התוצאות מושגות מיד בשביל כל המצבים האפשריים, ואפשר לתקן את הפרמטרים השונים עם הצגה מיידית של השפעתם על משתנים תלויים. על כל פנים, לטכניקה זו רמת דיוק נמוכה. לכל סוג של מחשב אנלוגי יש סוג שימוש אופטימלי.

מחשבים אנלוגיים למטרות מיוחדות

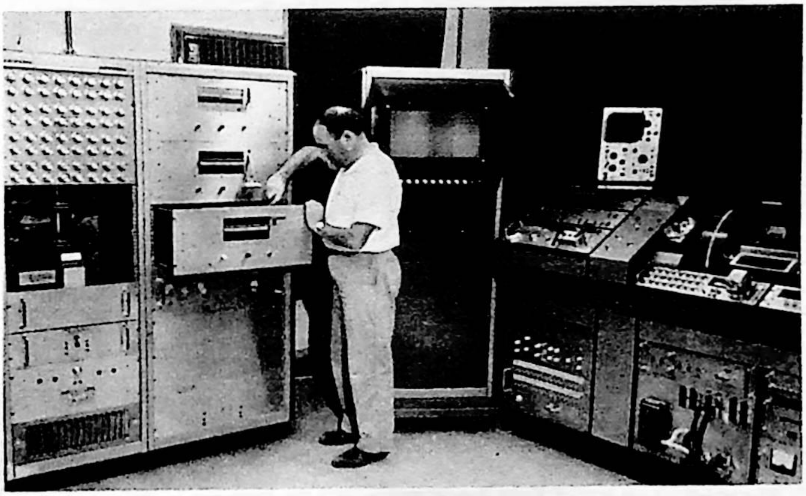
משתמשים בחישוב אנלוגי לתכליות מיוחדות שונות, שאינן דורשות את הדיוק של חישוב סיפרתי. מחשב אנלוגי מיוחד לפתרון בעיות ראדאר מוצג בציור 8—8. מחשבים אנלוגיים מיכניים מסוימים נבנו כדי לפתור בעיות מורכבות באופן מיוחד, כמו בעיות ניווט מטוסים, מחשב מיכני טיפוסי מסוג זה מוצג בציור 9—8.



ציור 8—8. מחשב אנלוגי זה נועד למטרה מיוחדת. אין בו לוח תיכנות מכיון שהתכנית של הבעיה היחידה אותה הוא פותר, בנויה בתוך המחשב. מערכת זאת של Mid Century פותרת בעיות הנוגעות להמרת סוגים שונים של אינפורמצית ראדאר.



ציור 8—9. מחשב אנלוגי אלקטרו־מכני טפוסי המיועד לפתור בעיות של ניווט מטוסים. (Hoffman Electronics)



ציור 8—10. מראה כמעט כללי של המערכת האנלוגית .S.I.E הנמצאת במכון למחקרי נפט וגיאופיזיקה. סרט מגנטי המופעל בשדה. בשעת מחקרי השדה קולט את תוצאות המחקרים; הסרט מותקן בתוף הנמצא מימין למעלה לשם ניתוח, והתוצאה מתקבלות בפלט (מימין) בצורת מתווה גרפי או על מסך הקרנה (באמצע).

9

מערכות איסוף נתונים

מתכנני מטוסים וטילים תלויים מאד בעזרת מחשבים, המסייעים להם בחישובי תכנון ובהערכת תוצאות של מבחני ניסוי. בחלקים הקודמים של ספר זה דנו בדרכים שונות בהן מסתייעים במחשב לצורך פתרון משואות תכנון. המתכננים קובעים את המשואות המתאימות, ואילו התכניתן מסמל את נתוני הקלט ואת ההוראות למחשב, ומפקח על פעולת המחשב, עד שמתקבלות התוצאות המבוקשות.

בהערכת מבחני ניסוי, הבעיה היא בדרך כלל שונה. לעיתים נערכים מבחני ניסוי במנהרת רוחות או במעבדה בה בודקים, לדוגמה, את תנאי ההריסה של חלקי הכנפים וחלקים אחרים של הרכב, על ידי העמסת שקי חול עליהם, או העמדתם תחת דרגות לחץ ומתיחות משתנות. לעיתים מבצעים את הניסויים על ידי טיסות ממשיות. כאשר הניסוי כרוך בטיסה ממשית, יש להעביר את הנתונים הנמדדים למקום איסוף הנתונים, אם הטיל או המטוס אינם יכולים לשאת את מערכת איסוף הנתונים וציוד הרישום בעצמם.

דרישות מערכת איסוף נתונים

הבעיה של איסוף נתונים היא בדרך כלל מורכבת. המורכבות נובעת מהדרישות הנוגדות של דגימת נתוני מבחן שהן: (1) בתכיפות רבה (2) בדיוק רב (3) במספר גדול של נקודות בדיקה. נוסף לזה יש לצבור את הנתונים באופן כזה שהמחשב יוכל לקבלם ולהבינם. מערכת אסוף נתונים אידאלית צריכה, איפוא, לדגום נתונים בתכיפות רבה ככל האפשר, באופן מדויק ככל האפשר, ולאחסן את התוצאות הסופיות בצורה המתאימה לעיבוד במחשב ספרתי.

מקורות הנתונים הם בדרך כלל סוגים שונים של מתמרים (transducers). מתמר הוא התקן הממיר תופעה פיזיקלית לאנלוגיה ניתנת למדידה. במערכת איסוף נתונים נתונה, אפשר להשתמש בסוגים שונים של מתמרים. אינפורמציה טיפוסית שעשויה לענין אותנו כוללת בין השאר מקום בחוגה (shaft), תנועה רוחבית (lateral), דרגת חום, זרימה ותאוצה. כדי להשיג יעילות מירבית בעבוד נתונים מהיר יש להמיר פרמטרים אלה, באורח אוטומטי, לצורה ספרתית.

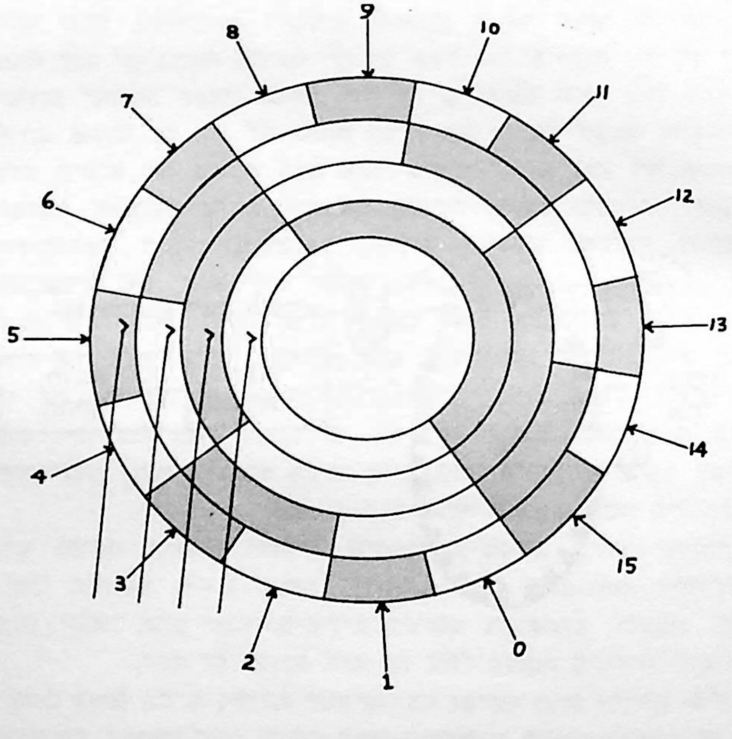
ממירים מיצוג חוגה ליצוג ספרתי

מבנה מפושט של ממיר כזה מתואר בציור 1—9. ראינו כיצד יכול המחשב לפענח צירופים של סגירות מעגלי הסבה (switch closures). בממיר המוצג, מתארות ארבע סביות (מברשות מגע מתכתיות או מבדדים הקובעים סגירה או פתיחה של מעגלי הסבה) את קטע החוגה, בדיוק של אחד לשישה עשר. כאשר החוגה מסתובבת משתנה הסמל, והמחשב, או התקן אגירה, יכול לקבל אינפורמציה על קטע החוגה על ידי בדיקת ארבע התחנות. על ידי הוספת מסלול חמישי, הכולל מספר כפול של קטעים ביחס למסלול הפחות ביותר בסדר החשיבות (החיצוני), מכפילים את דיוק המדידה פי שנים. עם ששה מסלולים מוכפל דיוק המדידה פי ארבע. ישנם התקנים שרמת דיוקם מגיעה לאחד חלקי כמה עשרות אלפים.

הממיר הפשוט המוצג בציור 1—9 הוא בעל ערך ממשי זעום. ראשית, רמת הדיוק שלו מאד נמוכה, ושנית קימת תמיד אפשרות שהמחשב יבדוק את מצב ההתקן, כאשר מופיעה קריאה שגויה בפלט. גם מגעי

המברשות וגם הקטעים המתכתיים אינם מסודרים באופן מושלם. כדי להדגים את התוצאות של ליקוי זה, נניח שהמברשת החיצונית מפגרת מעט אחרי האחרות, בעת קריאת קטע 8. במעבר מקטע 15 לקטע 0, יגרום פגור זה לקריאת 8 (המברשת החיצונית עדיין במגע עם 8) וליצירת שגיאה של 180 מעלות (חצי סבוב).

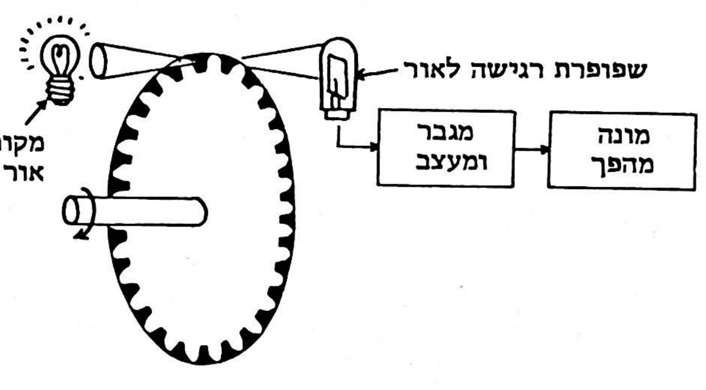
כדי למנוע שגיאות מסוג זה ואחרות משתמשים מספררי חוגה (shaft digitizer) בטכניקות שונות כמו סמלים מיוחדים, מברשות. כפולות ומעגלים לוגיים המונעים קריאה בעת המעבר מקטע לקטע.



ציור 1—9. חוגות סימול משמשות להמרת אינפורמציה המבוטאת בצורת אנלוג של קטע חוגה, לצורה ביטוי ספרתית המתאימה לעיבוד נתונים אוטומטי מהיר. חוגת הסימול הפשוטה המוצגת, יוצרת סמל שונה לכל אחד משהה עשר קטעי העגול.

מספרר חוגה אינקרמנטלי

סוג אחר של מספרר חוגה הוא המספרר האינקרמנטלי. ציור 2—9 מראה מספרר חוגה אינקרמנטלי מפושט. מספרר זה יוצר פעימה חשמלית בכל פעם שהוא מסובב בשיעור מסוים. כדי לעקוב אחר עמדת החוגה, דרוש מונה חיצוני. מלבד זה יש צורך לעקוב גם אחר כיוון הסיבוב. פעימות הנוצרות על ידי סיבוב החוגה בכיוון ההפוך, נגרעות מהמונה. מערכת ספרור מכילה איפוא, גם מונה מהפך ומערכת לוגית מיוחדת כדי להבדיל בין פעימות בכיוון קדמי ופעימות בכיוון אחורי. עמדת



ציור 2—9. חוגת ספרור אינקרמנטלי יוצרת פעימה לכל שעור של סבוב החוגה. מוני היפוך חיצוניים המשגיחים על עמדת החוגה, על ידי ספירת פעימות וחיבורן בכיוון אחד וחיסורן בכיוון ההפוך.

חוגה (shaft position) הוא אחד מפרמטרים ספורים המומרים ישירות לצורה ספרתית. ברב המקרים נדרשת צורה מתווכת של אינפורמציה.

אנלוגים של מתח

במדידת דרגות חום משתמשים הרבה בצמדים חומניים (thermocouple). הצמד החומני הוא חיבור זעיר של שתי מתכות שונות. הודות לאופן החיבור של מתכות אלה, מופיע מתח זעיר על פני צומת החיבור שלהן. גודלו של המתח מקביל באופן כללי לדרגת החום של החיבור. מכיון שהצמד החומני הוא קטן מאד, יש לו התמדה חומנית נמוכה (פירוש הדבר שהוא מתחמם ומתקרר במהירות), ולכן יקלוט במהרה את חום הגוף בו הוא נוגע. על ידי מדידת המתח של צמד חומני והתיחסות לקני מדה המוגשים על ידי בחינת הצמד החומני בדרגות חום ידועות, אפשר לקבוע את דרגת החום של גוף כל שהוא. גודלם של אותות של צמד חומני טיפוסי הוא כמה אלפים של אלפית וולט. לחץ נמדד בדרכים רבות. השיטה השכיחה ביותר (בשביל מערכות אוטומטיות לאיסוף נתונים) פועלת באמצעות מתמר מד־מתיחות (strain gage transducer). הלחץ נמסר לצד אחד של דיאפרגמה והשקע הנוצר בה נמצא ביחס מסוים ללחץ. כדי למדוד את השקע (ובאופן זה את הלחץ) משתמשים במד מתיחות. מד מתיחות הוא התקן הבנוי מכמה תילים דקים שתכונותיהם החשמליות משתנות על ידי עיוותים פיזיקליים. מטבע הדברים יש למסור למד־המתיחות מתח התיחסות. השינוי בתכונות החשמליות הנובע משינויי הלחץ יוצר מתחי פלט משתנים המייצגים את הלחץ הנמסר למד.

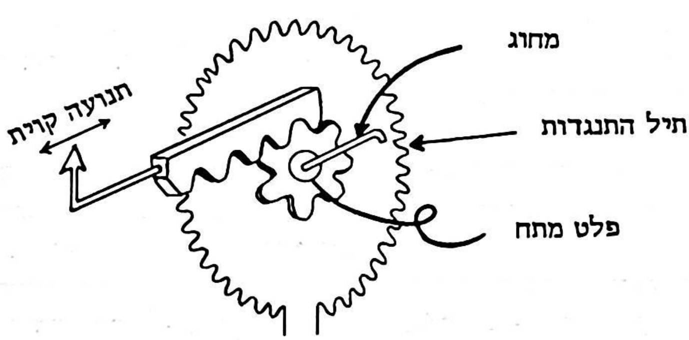
פוטנציומטרים משמשים לעיתים קרובות להמרת תנועה קוית לאינפורמציה המבוטאת במתח. התבונן בציור 3—9. התנועה הקוית הנבדקת נמסרת, באמצעות מערכת הילוכים, למד מתח הבנוי מנגד ומחוג. ככל שירחיק המחוג לנוע כן יגדל המתח על פניו.

שוב, מתקבל מתח המייצג את הפרמטר המענין אותנו, שהוא במקרה זה תנועה. מהדיון הקודם במתמרים צריך להיות ברור שאפשר לבטא את רב הפרמטים הפיזיקליים במונחים של מתח. מכיון שהמטרה של מערכת לאיסוף נתונים היא לעבד אינפורמציה כזאת במחשב ספרתי, או באופן ספרתי, דרושים אמצעים להמרת המתח לצורה ספרתית.

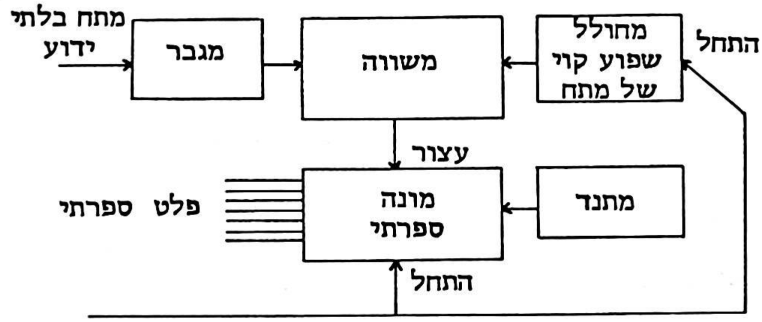
מדי מתח סיפרתיים

אחד ההתקנים הממירים מתח לאינפורמציה ספרתית, הוא מד מתח סיפרתי משופע (ramp type digital voltmeter). תרשים מלבני מפושט של מכשיר זה מוצג בציור 4—9. גרעינה של המערכת הוא מעגל היוצר שיפוע קוי של מתח, כלומר נקודה בה המתח עולה בשיעור קבוע כל יחידת זמן. המטרה היא לחולל מתח עולה בקביעות אשר ילווה את מתח הקלט, כדי שהאחרון יימדד בפרקי זמן מדויקים.

בהשואת המתח הנוצר בתוך המערכת, עם מתח קלט בלתי ידוע, מקבלים נקודה בה שני המתחים שוים, בתנאי שמתח הקלט נמצא בתחום השיפוע. הזמן בו יתרחש השוויון תלוי בגודל מתח הקלט. מכיון שהשיפוע מתחיל מרמה נמוכה וגדל באורח קווי, הזמן מתחילת השיפוע עד מפגש שני מתחים שווים מקביל באופן ישיר למתח הבלתי ידוע.



ציור 3—9. אפשר להמיר תנועה קוית למתח על ידי שימוש במערכת מכנית פשוטה, המוצגת בציור זה. התנועה הקוית מסובבת את המחוג של הפוטנציומטר. מתח ההתיחסות גורם ליצירת מתח על המחוג. גודל המתח שהמחוג מקבל נקבע לפי עמדתו.



ציור 4—9. ממיר אנלוגי של שפוע מתח לאינפורמציה ספרתית, מודד מתח בלתי ידוע על ידי שימוש בשיפוע מתחובמנגנון לקציבת זמן. המונה הספרתי סופר יחידות זמן בהתאם לקצב עלית המתח המשופע, עד שמתגלה שויון בין מתח הקלט והמתח הפנימי.

קל יחסית, לספרר פרקי זמן. מד מתח ספרתי משופע משתמש במתנד של מגסיקל אחד (מליון מחזורים לשניה), כדי לחולל פרקי זמן של 1 מליונית שניה. פרקי הזמן נספרים באופן אלקטרוני עד שמתגלה שויון בין המתחים. ברגע זה מאחסן המונה הספרתי מספר מקביל למתח הקלט. אפשר לקרוא את תכנו של מונה זה (הבנוי מסב־סובים — pilf flops) על ידי ציוד אחר של המערכת לאיסוף נתונים, ולאחסן את האינפורמציה בצורה המתאימה להזנה למחשב.

על ידי בחירה של זוית שיפוע מתאימה, אפשר להגדיר את מתח הקלט ישירות בוולטים. לדוגמה, נניח כי במערכת מסוימת שיפוע המתח הוא 1 וולט לכל אלפית שניה. אם המתנד פועל בקילו סיקל אחד (1000 מחזורים לשניה), כל פעימת פלט של המתנד מיצגת 1 אלפית שניה ולכן 1 וולט. בשביל קלט שמתחו 45 וולט, יידרשו לשיפוע 45 אלפיות שניה, כדי להגיע לשוויון עם הקלט. המונה, הסופר יחידות של אלפית שניה אחת, ייעצר בעת התגלות השוויון בספירה של 45.

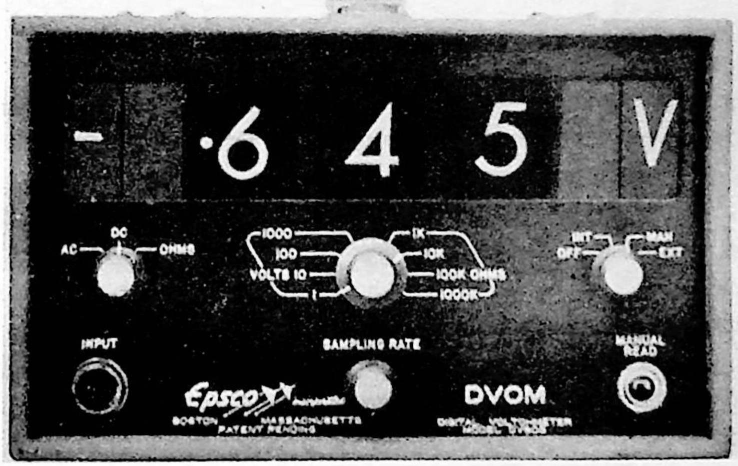
מדי מתח ספרתיים משופעים מוגבלים במהירות ובדיוק בגלל המעגלים הנדרשים ליצירת שפוע קוי של מתח. (ראה ציור 5—9).

ממירים מהירים

שימושים רבים דורשים מהירות ודיוק רבים יותר.

ציור 6—9 מראה ממיר מתח ליצוג ספרתי אשר יכול לבצע 50,000 המרות לשניה ברמת דיוק של 0,05 אחוז או 1/2000.

השיטה על פיה פועל ממיר זה נקראת קירוב־רצוף (successive approximation) ממיר זה כשלעצמו יכול להיחשב, מבחינת מהירות הפעולה והשימוש באלמנטים לוגיים, כמחשב למטרה מיוחדת. הנוסח המפושט ציור 7—9 מראה מתגים מיכנים, אולם למעשה כל יחידות המכשיר הן אלקטרוניות. כל צעד נמשך רק 2 מיליוניות השניה.



ציור 5—9. מד מתח ספרתי הבנוי על העקרון שתואר בציור 4—9. יחידה זו (המיוצרת על ידי Epsco Inc.) יכולה לבצע 100 המרות לשניה ברמת דיוק של 0,1 אחוז. היא יכולה לספרר התנגדויות ומתחי זרם משתנים.

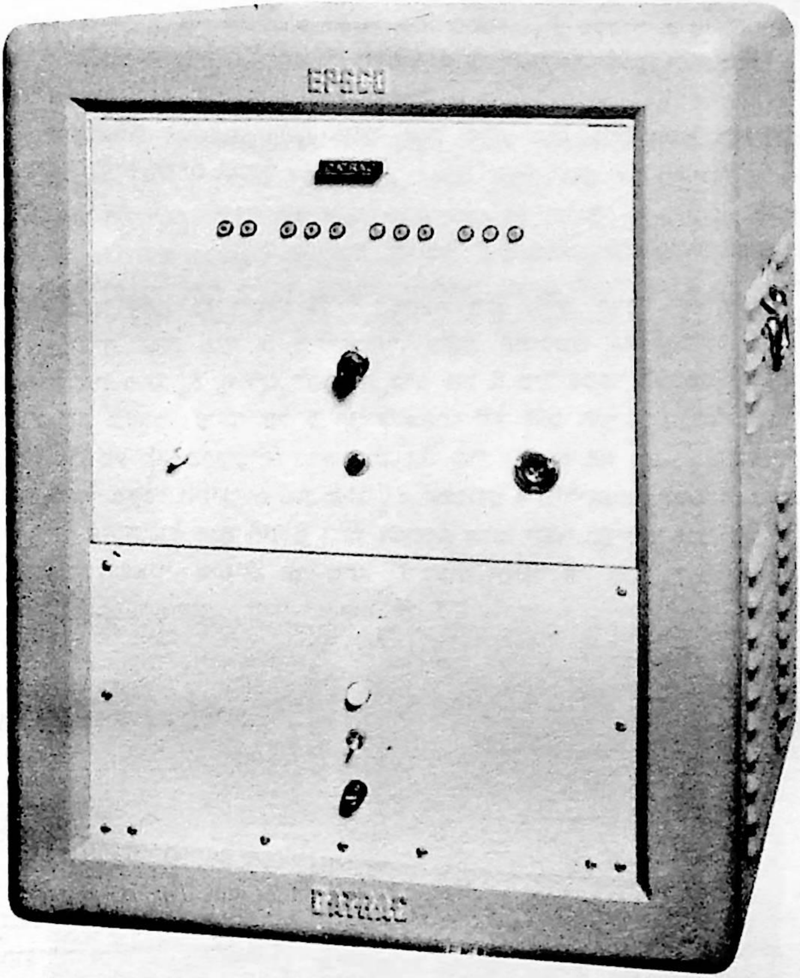
כדי להדגים את דרך הפעולה שלו נניח כי גודל הקלט נמצא בתחום שבין 0 ל־15 וולט (ראה ציור 7—9). כמו כן נניח כי מגבר הקלט מסוגל ליצור זרם Ix השווה במילי אמפרים למתח הקלט בוולטים. המתגים מחוברים לתקן של 15 וולט באופן כזה כשמתג I_8 מעביר 8 מיליאפמר אל המסכם (summer), מתג I_4 מעביר 4 מיליאמפיר, מתג I_2 מעביר 2 מיליאמפר ומתג I_1 מעביר 1 מיליאמפר.

המשווה (comparator) יוצר אות פלט בכל פעם שהסכום של זרמי Is גדול מזרם הקלט Ix.

נניח עתה כי הקלט גדול במקצת מ־5 וולט. הדבר יגרום לכך ש־Ix יהיה קצת מעל 5 מיליאמפר. מעגל התיכנות האלקטרוני סוגר תחילה את מתג I_8 וגורם להכנסת זרם של 8 מיליאמפר למסכם. מכיון שזרם זה בעצמו עולה על 5 המיליאמפר של זרם הקלט, מקבל מעגל התיכנות פעימה מהמשווה ומשתמש בה כדי לפתוח את מתג I_8. בצעד הבא סוגר מעגל התיכנות את מתג I_4, המכניס 4 מיליאמפר למסכם. זרם זה אינו עולה על זרם הקלט ולכן המשוה אינו יוצר פעימת פלט. מעגל התיכנות משאיר, איפוא, את מתג I_4 סגור וסוגר את מתג I_2, המוסיף 2 מיליאמפר למסכם. מכיון שסכום של 2 ו־4 הוא 6, ועולה על 5, יוצר המשווה פלט המשמש לפתיחת מתג I_2. לבסוף נסגר מתג I_1, ומכיון ש־4 ו־1 אינם גדולים מהקלט (אשר היה גבוה במקצת מ־5), לא מתקבל פלט מהמשווה.

המצב הסופי של המתגים מייצג באופן זה את הערך הספרתי (הבינרי) של מתח הקלט ואפשר לקרוא אותו על ידי ציוד חיצוני. ממיר מסוג זה יכול לפעול עם אחד עשר מתגי זרם בעלי משקלים בינריים, המאפשרים לו להגיע לדיוק של 1/2048 או 0,05 אחוז בקירוב. אם משתמשים במשקלי זרמים לפי השיטה העשרונית על בסיס בינרי, אפשר להמיר מתח לייצוג עשרוני לפי בסיס בינרי.

יש לציין כי הספרור על ידי **קירוב רצוף** דורש תמיד אותה כמות של זמן ואותו סוג של מעגלים, מכיון שהזמן הנדרש להמרה בודדת תלוי רק במספר הסביות, או החלטות המשווה, הנדרשות כדי להשיג את הצירוף והדיוק הדרושים.

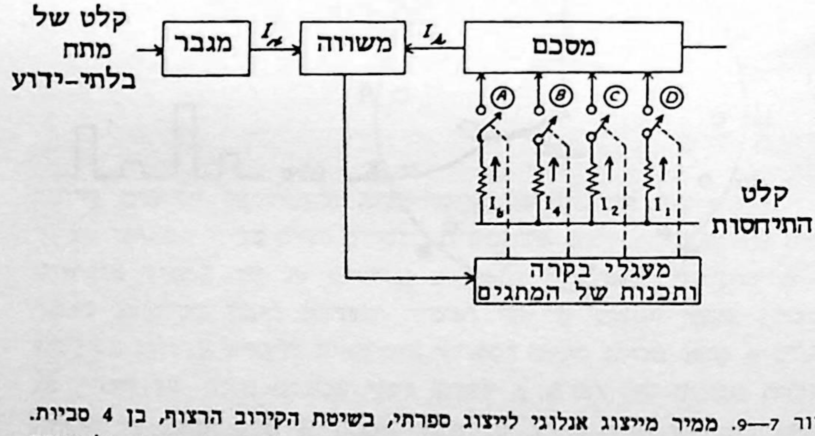


ציור 6—9. כאשר דרושה מהירות רבה בהמרה מייצוג אנלוגי לייצוג ספרתי משתמשים בשיטת הקירוב הרצוף. המכשיר המוצג מבצע 44,000 המרות בשניה בדיוק של 0,05 אחוז.

ריבוי קלטים

ממיר מתח לייצוג ספרתי הוא התקן בעל ערוץ אחד, כלומר בפרק זמן אחד הוא יכול לקבל רק מתח קלט אחד וזמן קצר לאחר מכן לתת בפלט סמל ספרתי מתאים, המיצג את המתח שנמסר לקלט.

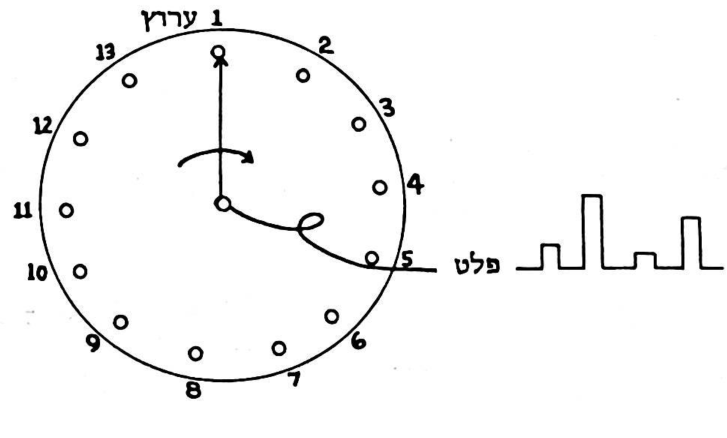
מכיון שמערכות לאיסוף נתונים נדרשות למדוד מכלול של מתחים בלתי ידועים, יש צורך בשיטה שתגיש אותם למספרר ברציפות. תהליך זה נקרא העברת קלטים רבים (multiplexity). תרשים מפושט המיצג התקן רב קלטים (multiplexor) מיכני, מוצג בציור 8—9. כאשר המתג מסתובב, הוא מתעכב בכל תחנת קלט פרק זמן המספיק למספרר כדי לבצע את ההמרה הנדרשת. המספרר מוחזר אוטומטית לאפס, לפני התחלתו של מחזור המרה חדש.



ציור 7—9. ממיר מייצוג אנלוגי לייצוג ספרתי, בשיטת הקירוב הרצוף, בן 4 סביות. התקנים מעשיים פועלים באמצעות שלוש עשרה סביות, לפי צופן בינרי. כל המרה דורשת אותה כמות זמן ואינה תלויה בערכו של הקלט הבלתי ידוע, אלא במספר הסביות הנדרשות לייצוג מתח הקלט.

להתקן רב קלטים המיכני, המהיר ביותר יש מגבלות מהירות רציניות לגבי שימושים רבים. כתוצאה מכך נבנו התקנים אלקטרוניים, אשר יכולים להסב ערוצי קלט בקצב של כמה רבבות קלטים לשניה תוך מתן זמן מספיק למספרר מהיר להמיר כל קלט לצורה ספרתית.

במהירות כזאת אפשר למדוד גם פרמטרים המשתנים במהירות, עם יתרת זמן המאפשר למחשב לעבוד נתונים, לבצע חישובים הנוגעים למתאם (השואת מגמות של פרמטר אחד ביחס לאחר) של הנתונים שנאספו. על כל פנים, קלטים רצופים עלולים להשתהות בגלל הזמן הנדרש להסבה והמרה. כאשר השהיה זו אינה רצויה משתמשים בשיטת רבוי קלטים הקרויה „קבל והחזק" (sample and hold) בסוג זה מקבל ההתקן רב הקלטים, קלטים מכל הערוצים בבת אחת, ומחזיק את רמת המתח של כל קלט, זמן מספיק להמיר ולספרר כל כמות מוחזקת, בתוכה. בשיטה זו משתמשים גם כאשר נתוני הקלט משתנים במהירות כה גדולה עד כדי השינויים ב־Ix הנכנסים למשווה המרה, עלולים לגרום ליצירת ערכים שגויים.



ציור 8—9. אנלוגיה מיכנית מראה את תפקידם של התקנים רבי קלטים multiplexors בהם משתמשים במערכות מהירות לאיסוף נתונים. התקנים מסוימים הם אלקטרוניים ומאפשרים קצבי הסבה וספרור המגיעים ל־25,000 קלטים לשניה.

רישום נתונים ספרתיים

מן הראוי להדגיש כי במשך הזמן שההתקן רב הקלטים (multiplexor) והמספרר עוברים את התהליך שתואר לעיל, מופיעה אינפורמציה ספרתית בהפסקות סדירות בתחנות הפלט של הממיר.

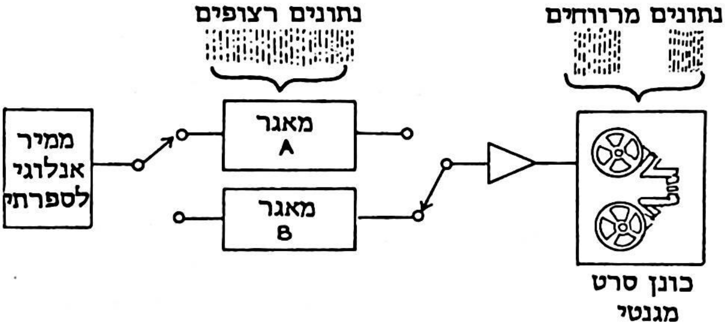
האינפורמציה מופיעה כרמת מתח מסוימת בכל תחנות הפלט המיצגות סביות 1 והיעדר מתח בכל התחנות המייצגות 0. הסמל הנכון מופיע רק לאחר שנעשו כל הקירובים הרצופים. הוא נעלם כאשר הממיר מוחזר לאפס כדי להתחיל במחזור ההמרה הבא.

הסמל הנכון מופיע, איפוא, בתחנות הפלט בצורת רמות המתח, בסופו של כל מחזור המרה, למשך פרק זמן קצר. כדי להעביר את האינפורמציה הספרתית הזאת להתקן אחסון או להתקן פלט חזותי משתמשים במעגלי העברה והגפה (Gating) מהסוגים שתוארו בפרק 5.

אם מפעילים מערכת לאיסוף נתונים, כמו זו שתוארה לעיל, באופן רצוף במשך תקופת זמן, יש לספק לה אמצעים, להכנת הפלט להזנת המחשב. נוכחנו מדיונים הקודמים כי המחשב מקבל אינפורמציה בחטיבות ושכל חטיבה מכילה מספר מדידות בודדת. על סרט מגנטי יש להפריד חטיבות כאלה באופן פיזי על ידי רווחים על הסרט, כדי לאפשר למנגנון הסרט המזין את האינפורמציה למחשב, להתיחל ולעצור מבלי לאבד אינפורמציה.

עריכת סרט

כדי ליצור חטיבות של אינפורמציה ולענות על דרישות עריכה רבות אחרות של המחשב, משתמשים במקרים רבים בציוד המתואר בציור 9—9. הנתונים הספרתיים הרצופים הנוצרים על ידי הממיר מוזרמים לזיכרון בקצב הנקבע על ידי הממיר ומערכת ריבוי הקלטים. כאשר זיכרון A מלא, מנותב הקלט הספרתי אוטומטית לזיכרון B, ולכן מסתימת העברת נתונים של זיכרון A לסרט, לפני שנשלם מילוי של זיכרון B. הסרט יכול להמשיך לרוץ. עד אשר זיכרון B מלא ומוכן על הסרט, כבר נוצר על הסרט רווח מספיק בשביל מנגנון הסרט של מחשב להתניע ולעצור בין חטיבות.



ציור 9—9. נתונים ספרתיים הנוצרים ברציפות, על ידי ממיר מייצוג אנלוגי לייצוג ספרתי, נאספים לחטיבות לפני רישומם על סרט מגנטי. האיסוף לחטיבות מאפשר יצירת רווחים בין חטיבות נתונים, כך שהמחשב יוכל לקבל נתונים בצרורות ולהפסיק בין צרור לצרור

התאוריה של אינפורמציה

כל דיון במערכות לאיסוף נתונים לא יהיה שלם בלי מספר מילים על התאוריה של אינפורמציה. נתונים מסוימים משתנים מהר יותר מאשר נתונים אחרים. לדוגמה, אם מכופפים מוט, הלוך וחזור, בקצב מהיר, הלחצים והמתיחויות משתנים במהירות. לאותות המקבילים לפרמטרים אלה יש צורה מחזורית וקצב התנודות זהה לקצב הכיפוף. יתכן כי גם השפעת החימום שיש לכיפוף זה, הוא נושא לבדיקה. אם כך, נמצא כי עלית דרגת החום, הנמדדת במקום כלשהו על המוט, תהיה איטית מאד, בהשואה להשתנות של הנתונים האחרים.

מבחינה תיאורטית אין הכרח למדוד שני סוגי פרמטרים אלה אותו מספר פעמים במשך הבדיקה. אם מופעלים אותם קצבי מדידה, ניווכח כי תוצאות המדידה של דרגת החום, לא ישתנו במשך מחזורים אחדים של אינפורמצית המתיחות, ונמצא שאנו מבזבזים מדידות. עלית דרגת החום דורשת, יחסית, מדידות ספורות, אולם המתיחות דורשת מדידות תכופות מאד, כדי לתת למחשב תמונה ברורה של השינויים המתרחשים במוט.

ברי־סמכא בענין זה חלוקים בדעותיהם לגבי מספר הפעמים שיש למדוד בטוי מחזורי כדי לשמור על דרגת דיוק נתונה. יש להביא בחשבון גורמים רבים כדי להגיע למספר כזה. באופן כללי כל מערכת הבוחנת אותות קלט מתנודדים כמה פעמים לכל תנודה, נחשבת כמספקת בשביל רוב המטרות של עיבוד נתונים.

חישוב בזמן המאורע (REAL TIME)

בשימושים מסוימים חשוב לבצע חישוב נדרש מיד לאחר מדידה. דרישה זו אפיינית במיוחד למחשבים המשמשים לבקרת תהליכים. (process control). במחשבים לבקרת תהליכים, מבוקר פרמטר מסוים על ידי תיפקודי בקרה, שהיחס ביניהם נקבע לפי פונקציה המחושבת.

במקרים כאלה, הפלט של הממיר מייצוג אנלוגי לייצוג ספרתי, מוזן ישירות למונה הקלט של המחשב. גם מחשבים רבים למטרות כלליות מכילים ציוד לקבלת נתונים באורח זה.

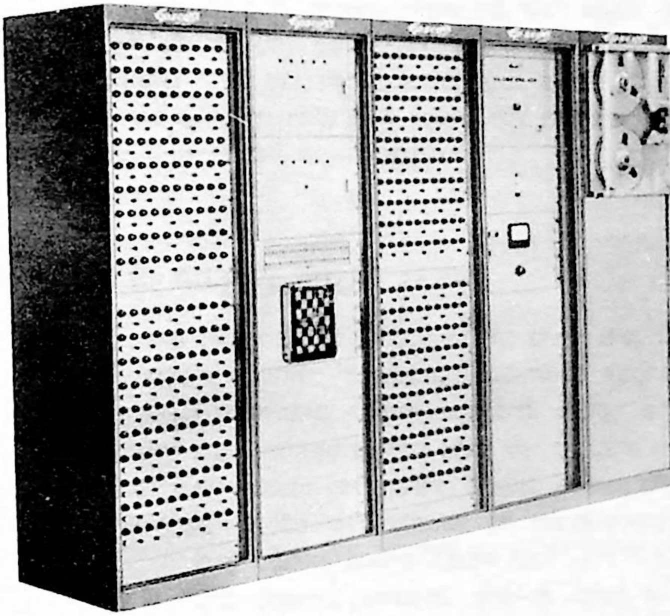
מחשבים רבים למטרות מיוחדות, פועלים בדרך זו (ראה ציור 10—9). מחשב להנחית טילים לדוגמה, מתבונן בקביעות במתמרי תאוצה ועורך שינויים נחוצים במערכת ההנחיה שלו, כדי להביא את קריאות המתמרים לזהות עם הדרישות לגבי מסלול נתון.

מערכות למדידה מרחוק

בכל מערכת לאיסוף נתונים, עשויים מקור הנתונים ומערכת האיסוף להיות מופרדים, באופן פיזי, זה מזה. לדוגמה, בנסוי מטוסים דרוש לעיתים אמצעי קישור, מפני שהציוד לאיסוף הנתונים עשוי להיות גדול וכבד מדי לנשיאה על ידי המטוס. במקרים כאלה, משתמשים לעתים קרובות במדידה מרחוק (telemetry), באמצעות גלי רדיו. מדידה מרחוק בצורות אחרות, באמצעות קוי תקשורת ארציים, לדוגמה, מאפשרת העברת אינפורמציה מהמקור למקום איסוף הנתונים, או ישירות למחשב.

מדידה מרחוק באמצעות אפנון תדר (frequency modulation), קשורה באותות רדיו שלתדירות רכיביהן יש יחס ידוע לפרמטרים הנמדדים במקור. האותות הנוצרים מפוענחים במקום עבוד הנתונים והנתונים המקוריים מומרים לשפת מחשב.

צורה נפוצה אחרת של מדידה מרחוק, מבוססת על שיטה הידועה



ציור 10—9. מערכת אסוף נתונים זו ב־ Republic Aviation Co. מספררת את הפלט של 200 מתמרים שונים ומכינה את הנתונים הספרתיים בצורה המתאימה לקליטה במחשב ספרתי באמצעות סרט מגנטי.

כאפנון משך פעימה (pulse-duration modulation). בשיטה זו גורמים הפרמטרים הנמדדים לפעימות מייצגות של אנרגית תדירות גלי רדיו, המועברים לתחנת הקליטה לפיענוח, ספרור והמרה לשפת מחשב. אחת התכונות של מערכת זו היא יכולתה להכיל ערוצים רבים של אינפורמציה ולהעביר, יחד עם נתונים מדודים, אינפורמציה לכיול ציוד המדידה הנישא באויר, בפרקי זמן סדירים.

שתי המערכות מוגבלות במהירות ובדיוק. שיטה מתקדמת יותר הידועה בשם אפנון צופן פעימות (pulse-code modulation). בנויה מממיר מייצוג אנלוגי לייצוג ספרתי הנישא באויר, ומהתקן רב קלטים. במקום למדוד מרחוק אינפורמציה אנלוגית ולסבול ליקויים בנתונים הנובעים מרעש וטשטוש, מועברת רק אינפורמציה ספרתית. מאחר שאינפורמציה ספרתית מורכבת משני מצבים 1 ו־0 ומשום שאפשר להבחין בין שני מצבים אלה בקלות יחסית גם בנוכחות רעש וטשטושים. — תהיה המערכת הספרתית מדויקת יותר.

10

המחשבים בישראל

בסוף שנת 1967, כשש שנים לאחר הפעלתו של המחשב הראשון בישראל, מותקנים בארץ 78 מחשבים אלקטרוניים •. באותו זמן היו מותקנים בעולם (להוציא את מזרח אירופה וסין) למעלה מ־70 אלף מחשבים.

מגמה זו של עלייה מהירה במספרם של המחשבים המותקנים בארץ בולטת לאור הנתונים של מפקד המחשבים לסוף שנת 1966 (שנערך ע״י הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה בהזמנתו של האיגוד הישראלי לעיבוד אינפורמציה) בו התפקדו 64 מחשבים. 36 מהם היו קטנים, כלומר ללא ציוד עזר של סרטים מגנטיים; השאר הופעלו עם סרטים מגנטיים והתחלקו — מבחינת גודל הזכרון, כדלהלן: עד זכרון של 16 אלף תוים — 11 מחשבים; עד זכרון של 32 אלף תוים — 6; עד זכרון של 64 אלף תוים — 6; ומעל לזכרון של 64 אלף תוים — 5 מחשבים.

מרבית המחשבים המתווספים הינם מחשבים גדולים ומשוכללים יותר ובעלי מערכת סרטים מגנטיים.

במשך שנת 1968 מתווספים 7 מחשבים נוספים ו־4 אחרים מוחלפים.

בסוף שנת 1967 חדרו המחשבים בארץ לכל ענפי הכלכלה, לשירותי הבריאות והסעד ולמוסדות המדע. מחציתם בסקטור הממשלתי, השלטון המקומי והציבורי, והמחצית השניה — בסקטור הפרטי וההסתדרותי.

קיים סיכוי כי עד סוף שנת 1969 יגדל מספר המחשבים בארץ בחמישים אחוזים.

•) במנין זה של מחשבים אשר בארץ לא נכללים מחשבים כמו י.ב.מ. 6400, המסווגים כמכונה קונבנציונלית להנהלת חשבונות, או מחשבת שולחן כבורוז—2000 — שאינם מאחסנים תכנית ו־DATA בתוך הזכרון הפנימי.

חברות המחשבים הפועלות בארץ

כיום פועלים מחשבים של חמש חברות: „י.ב.מ." (I.B.M.) „נ.סי.ר." (N.C.R.), „סי.די.סי." (C.D.C.), „אליוט" (ELIOT) ו„פילקו" (PHILCO).

לארבע החברות הראשונות יש סניפי שירות בארץ. חברת „פילקו" חדלה לייצור מחשבים ומעולם לא הקימה סניף בארץ. מלבד מחשבים של חברות אלה, פועלים במכון ויצמן למדע 2 מחשבים — „גולם" — שנבנו ע"י מדעני המכון. באמצע 1967 הכריזה חברת „אלביט" מחיפה על התחלת שיווקו של מחשב ישראלי הנקרא „אלביט—100", ואשר זכה להזמנות מארצות חוץ.

מבחינת החברות נחלקים 78 המחשבים ליום 31.12.67 כדלהלן: י.ב.מ. — 37 מחשבים; נ.סי.ר. — 19; סי.די.סי. — 5; פילקו — 5; אליוט — 2; גולם — 2 מחשבים.

הדגמים השונים המותקנים בארץ בסוף שנת 1967, לפי חברות, היו:

י.ב.מ.: דגם 1401 (15); 360/20 (11); 360/30 (11); 360/40 (2); 360/50 (1); 1800 (2); 7040 (1).

נ.סי.ר.: דגם 315 (6); 500 (11); 390 (2).

סי.די.סי.: דגם 1604 (1); 160A (1); 3300 (1); 1700 (1) 3400 (1).

פילקו: דגם 1000 (3); 2000 (2).

אליוט: דגם 803 (1); 503 (1).

סוגי מחשבים

נסקור עתה את התכונות המרכזיות של מחשבים הפועלים בארץ. נחל את הסקירה במחשבים קטנים ונעבור אל הגדולים. מן הראוי לציין כי, לעתים קרובות קשה לעשות הבחנה חותכת בין מחשב קטן או בינוני, למחשב גדול. הגורמים העיקריים, הקובעים את עוצמת המחשב, הם גודל הזכרון הפנימי ומהירות הפעולה של המחשב. בדרך כלל בונים היצרנים את המחשב באופן מודולרי. פירוש הדבר שאפשר להגדיל את הזכרון הפנימי שלו במנות בעלות גודל קבוע. מחשב מסוים יכול, איפוא, להיות מותקן בארגון אחד במבנה קטן ובארגון אחר במבנה גדול. מהירות פעולת המחשב, לעומת זאת, קבועה לכל הרכב מודולרי אפשרי שלו.

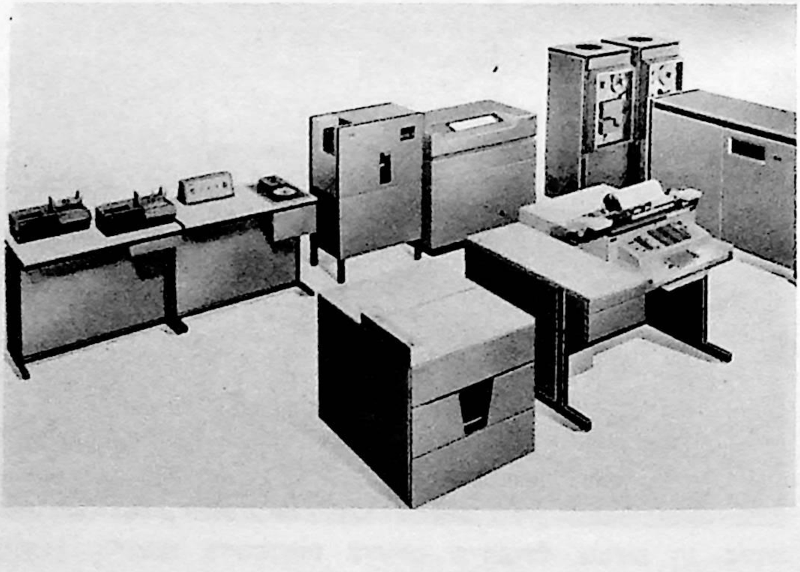
הסקירה נערכה על פי אינפורמציה שנמסרה על ידי סניפי החברות בארץ. כל חברה בחרה להדגיש תכונות מסוימות, לכן אין אחידות מלאה בתיאור התכונות.

מחשב N.C.R.-390

למחשב זה זכרון בן 200 מלים. כל מלה מכילה 12 ספרות. המחשב מסוגל לקלוט נתונים מפסים מגנטיים המוטבעים על צידו האחורי של כרטיס חשבונאי חזותי רגיל, ולרשום נתונים בצורה זו. כמו כן ניתן לחבר לו יחידות לקריאה וניקוב של סרטי ניר וכרטיסי ניקוב. השימוש העיקרי בו הוא בתחום החשבונאות.

מחשב N.C.R.-500

מחשב זה דומה למחשב הקודם אלא שהוא יותר משוכלל. הזכרון שלו כפול מזה של N.C.R.-390 הוא מצויד במכונת כתיבה חשמלית המסוגלת להדפיס דוחו"ת וכן מדפסת שורות. כמו כן ניתן לחבר אליה יחידה לקריאה אופטית של נתונים מודפסים. הקריאה האופטית מוגבלת לתוצרים מודפסים של מכונות הנהלת חשבונות, קופות רושמות וכדומה.



מחשב N.C.R.-500

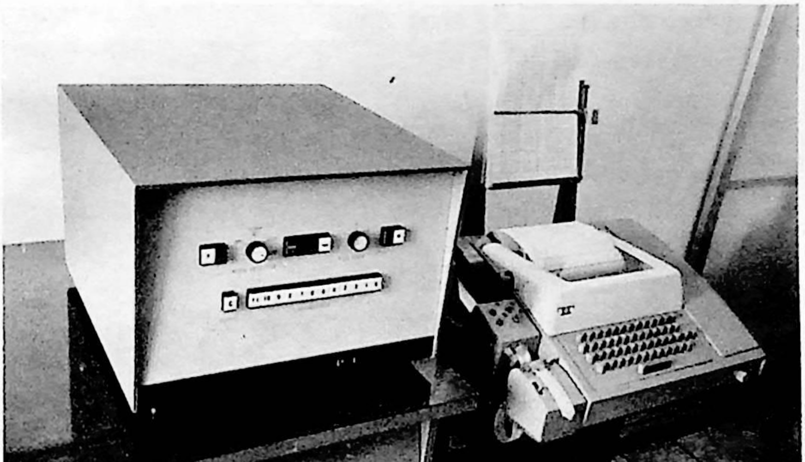
„אלביט — 100"

„אלביט־100" יכול לשמש גם כמחשב ספרתי וגם כמחשב אנלוגי. זהו מחשב קטן חד תכליתי. כלומר נועד לפעול לשימוש מסוים.

רוב הרכיבים של המחשב זהים בכל מערכת ומערכת שלו. התאמת מערכת המחשב לטפול בסוג מסויים של בעיות נעשית באמצעות התקן מיוחד בו ניתן לכונן מערכת פיקודית מתאימה.

אפשר לחבר למחשב ציוד קלט־פלט מגוון כמו סרטי ניר, סרטים מגנטיים והתקנים אנלוגיים. הזכרון שלו מכיל מ־512 עד 2048 מילים בנות 12 סביות או 2 תוים, כל אחת. זמן המחזור הוא 0,4 שניות. כמחשב אנלוגי הוא מכיל 128 סוכמים.

ההזמנות מארצות אירופה בשנת 1967, השנה הראשונה למחשב זה, מסתכמים ב־350,000 דולר.



„אלביט — 100"

סדרת מחשבים I.B.M.-1400

סדרה זו כוללת שלושה מחשבים — 1440, 1401, 1460.

לסדרה זו זכרון פנימי המכיל מ־2000 תוים עד 16.000 תוים. כל תו הוא מילה בזכרון. כל מילה יכולה לפעול כמונה. החישובים נעשים בשיטה העשרונית. המחשב 1440 הוא הקטן שבסדרה ואילו ה־1460 הוא הגדול. הוא אף המהיר שבסדרה.

ניתן לחבר למחשבים אלה יחידות קריאה וניקוב של כרטיסים, מדפסות, סרטי ניר, סרטים מגנטיים, דיסקות ויחידות לזיהוי אופטי ומגנטי של נתונים.

מחשבים אלה פעלו בשנותיהם הראשונות כמחשבים עצמאיים. עם היכנסם לשימוש של מחשבים גדולים יותר, הם משמשים גם כציוד קלט־פלט של המחשבים הגדולים. כל הסדרה נועדה לעיבוד נתונים מינהלי ומסחרי.

I.B.M.-1800

מחשב זה מיועד לבקרת תהליכים ולחישובים מדעיים.

החישובים בו נעשו בשיטה הבינרית ומבנהו כולל התקני בקרה הדרושים לפיקוח על הקשר עם קלט ופלט של תהליכים.

ציוד קלט־פלט של המחשב מורכב מכרטיסים וסרטי ניר מנוקבים, סרטים מגנטיים, דיסקות, מדפסת, מתוה גרפים והתקנים אנלוגיים. המחשב יכול לקבל אותות חשמליים מיחידות מדידה כמו צמדים חומניים, מדי לחץ ומדי זרימה, ולספק, לאחר חישובים, אותות בקרה חשמליים המכוונים את התהליך.

I.B.M.-360 / דגם 20

גודל הזכרון של מחשב זה נע בין 4.000 תוים ל־16.000 תוים. המיוחד למערכת זאת הוא יחידה רב תפקודית. לכרטיסים מנוקבים (Multi-Function Card Machine) המסוגלת לבצע פעולות של מכונות כרטיסים מנוקבים כמו העתקה, מיזוג, פיענוח, ומיון. כמו כן אפשר לחבר למחשב זה סרטים מגנטיים ודיסקות.

I.B.M.-1620

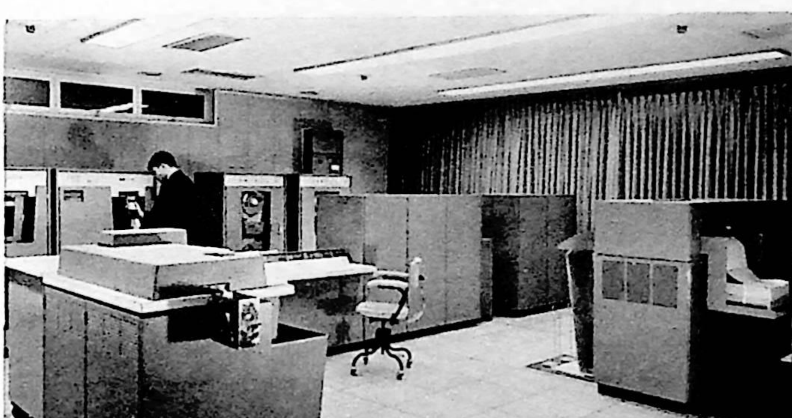
ה־1620 הוא מחשב מדעי איטי, יחסית, בעל זכרון גדול. זכרונו מכיל עד 80.000 תוים. זמן המחזור שלו הוא 10 מיליוניות השניה. מחשב זה משמש לעיבודים מדעיים וסטטסטיים ומצטיין בספרית תכניות גדולה.

N.C.R.-315

למחשב זה שני דגמים,

גודל הזכרון נע מ־5.000 מילים עד 40.000 מילים. כל מילה בנויה מ־12 סביות ויכולה להכיל 3 ספרות או 2 אותיות. למחשב ניתן לחבר את ציוד הקלט־פלט המקובל שכבר נזכר קודם לכן. אולם, הציוד לקלט־פלט ולאחסון נתונים המיוחד לו הוא הכרטיסים המגנטיים מסוג CRAM שנידונו בספר בפרק על הזכרון.

שני הדגמים של המחשב מיועדים לשימושים מינהליים ומסחריים. זמן המחזור הוא 6 מיליוניות השניה.



N.C.R.-315

PHILCO-1000

מחשב זה משמש גם כמחשב עצמאי וגם כציוד קלט־פלט למחשב הגדול יותר של חברה זו, PHILCO-2000, גודל הזכרון נע מ־4.096 תוים עד 32.768 תוים. המחשב מסוגל לחשב הן בשיטה הבינרית והן בשיטה העשרונית. ניתן לחבר למחשב ציוד קלט־פלט וציוד אחסון כמו כרטיסים, סרטי ניר, מדפסות וסרטים מגנטיים. כמו כן ניתן לקשור אותו לתחנות מרוחקות באמצעות קוי תקשורת.

C.D.C.-1604 ; C.D.C.-160A

שני מחשבים אלה הם חלק ממרכז החישובים של מכון וייצמן למדע ומסייעים בעיבודים מדעיים. הזכרון של המחשב 160-A הוא בן 32.000 מילים בנות 12 סביות כל אחת. הזכרון של המחשב 1604 הוא בן 32.000 מילים בנות 48 סביות כל אחת. החישוב נעשה בשיטה הבינרית.

למחשבים אלה קשורים סרטים מגנטיים מדפסת וציוד לקריאה וניקוב של כרטיסים.

זמן המחזור של שני הדגמים הוא 6,4 מליוניות השניה.

I.B.M.-360 / דגמים 30 ו־40

המאפיין מחשב זה הוא היותו בנוי מטרנסיסטורים זעירים שגודלו של כל אחד הוא כגרגיר מלח. גודלו של הזכרון נע מ־8000 תוים עד 8.000.000 תוים. המהירות נעה מ־2000 עד מיליון פעולות בשניה. המחשב מסוגל לחשב בשיטה הבינרית, בשיטה העשרונית ובשיטה מעריכית. גם למחשבים אלו ציוד קלט־פלט וציוד אחסון נתונים מקובל וכרטיסים מגנטיים הנקראים "Data cell" המחשב הוא רב־תכליתי. הוא משמש גם לעיבודים מדעיים וגם לבקרת תהליכים. מחשבים אלו מסוגלים לבצע מספר תכניות במקביל.

N.C.R.-315 — RMC

מחשב זה הוא המשוכלל שבסדרת N.C.R.-315 גודל הזכרון שלו נע מ־10.000 מילים עד 80.000 מילים. זמן המחזור הוא 0,8 מליוניות השניה. כל מילה יכולה להכיל 2 אותיות או 3 ספרות. הזכרון בנוי מציפוי מגנטי דקיק. במחשב זה אפשר לערוך חישובים בשיטה מעריכית (Floating point) פירוש הדבר שבפעולות כפל וחילוק קובע המחשב עצמו את השבר שבמספר. (במחשבים שאינם מסוגלים לחשב באופן מעריכי, על התכניתן לקבוע מראש את מקום הנקודה המבחינה בין היחידות השלמות של המספר לבין השבר שלו).

כמו כן יכול המחשב לשמש לעבודות בקרת תהליכים, כלומר חישוב בזמן המאורע (Real time) גם למחשב זה ניתן לחבר את ציוד הקלט־פלט וציוד לאחסון נתונים המקובל, החל מכרטיסים מנוקבים עד לזיהוי אופטי ומגנטי וכמובן גם ציוד לכרטיסים מגנטיים - CRAM.

C.D.C.-3300

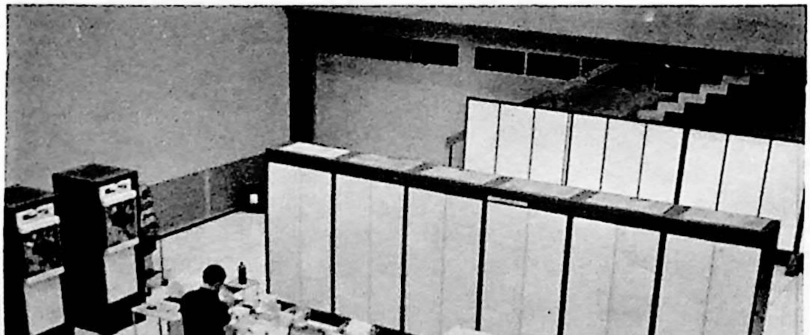
הגודל המירבי של זכרון מחשב זה הוא 262.000 מילים בנות 24 סביות כל אחת. זמן המחזור הוא 1,25 מליוניות השניה. המחשבים מסוג זה מכילים זכרון בן 128.000 תוים.

גם מחשב זה מיועד לשלושת סוגי השימושים — מינהלי־מסחרי, מדעי ובקרת תהליכים. התקנים מיוחדים המתחברים ליחידת העיבוד המרכזית מאפשרים לו לפעול בכל אחד מהתחומים. למחשב אפשר לקשור ציוד לקריאה וניקוב של כרטיסי ניקוב ושל סרטי ניר, מדפסות, סרטים מגנטיים, דיסקות, מתווים גרפיים, ציוד לזיהוי אופטי ועוד.

ELIOT-803, 503

הזכרון של דגם המחשב 503 הפועל בארץ מכיל 24,000 מילים בנות 39 סביות כל אחד. זמן מחזור הוא 3.3 מיליוניות השניה. המחשב משמש לעיבודים מדעיים ומצויד לסרט ניר, שלושה כוננים של סרט מגנטי ומתווה גרפי.

הדגם 803 הוא יותר קטן ויותר איטי. זכרונו מכיל 8,000 תוים בני 39 סביות כל אחד וזמן המחזור הוא 288 מליוניות השניה. ציוד העזר שלו מורכב מקריאה וניקוב של סרט ניר בלבד.

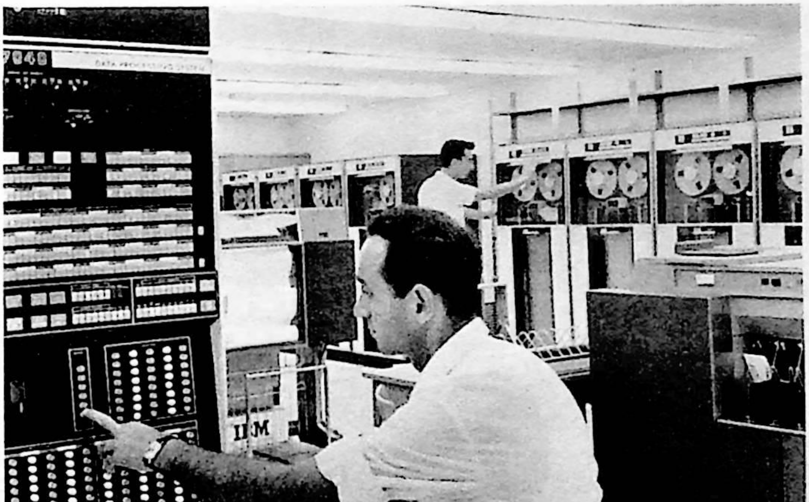


ELIOT-503

I.B.M.-7040

הזכרון של מחשב זה, המיועד בעיקר לעבודות מדעיות אך משמש גם לעיבוד נתונים מינהלי, הוא בן 32,000 מילים. כל מילה מכילה 36 סביות או 6 תוים. החישוב נעשה בשיטה הבינרית ובשיטה מעריכית.

למחשב המותקן בארץ מחוברים כונני סרטים מגנטיים ומחשב I.B.M.-1401, המשמש לו לפעולות של קלט־פלט. ניתן לחבר למחשב גם דיסקות, ציוד מיוחד לכרטיסים מנוקבים וסרטי ניר והתקנים לתקשורת מרחוק.



I.B.M.-7040

„הגולם"

כאמור נבנה ה„גולם" ע"י מדעני מכון וייצמן. מדעני המכון בנו שני מחשבים מטפוס זה, בזה אחר זה. שני המחשבים מופעלים יחדיו וקשורים באמצעות מערכת דיסקית ומדפסת.

למחשבים זכרון בן 32.768 מילים. כל מילה מכילה 75 סביות. החישוב נעשה בשיטה בינרית ומעריכית. זמן המחזור הוא 2 מקרו־שניות.

המערכת כולל גם 12 כוננים של סרטים מגנטיים וציוד לקריאה וניקוב של סרטי ניר. המערכת משמשת לעיבודים מדעיים מסובכים בתחום המתמטיקה השימושית, הגיאופיזיקה, והפיזיקה האטומית, הכרוכים בהפעלת מטריצות שממדיהן מגיעים ל־1500×1500.



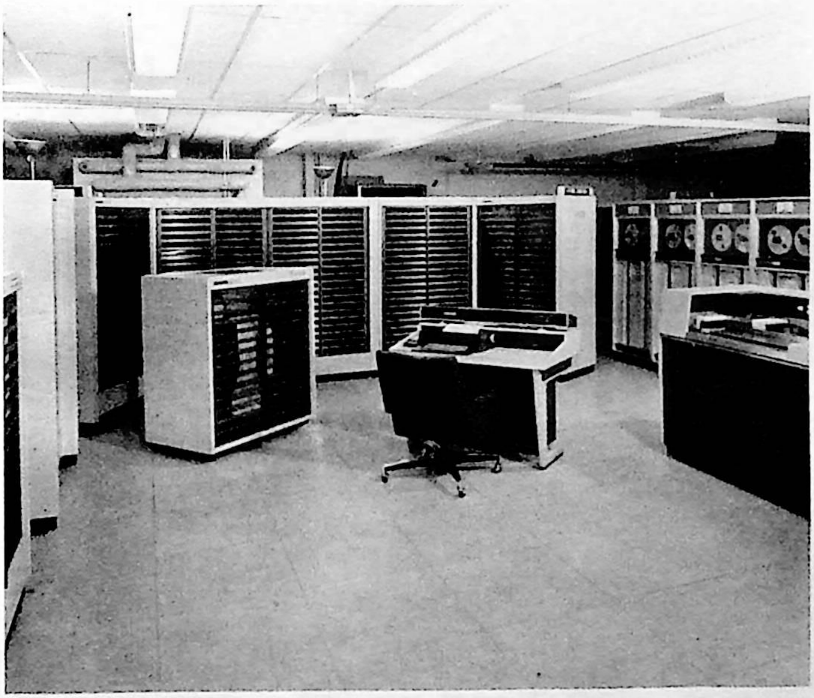
„הגולם"

C.D.C.-3400

גודל הזכרון של הדגם הוא 32.000 מילים היכולות להכיר 256.000 תוים. זמן המחזור הממוצע של מחשב זה הוא 3—4 מיליוניות השניה. החישוב נעשה בשיטה בינרית. באמצעות התקן מיוחד יכול המחשב לחשב בשיטה מעריכית.

המחשב מיועד לעיבודים מדעיים אך יכול ומשמש גם לעיבודים מינהליים.

ניתן לחבר לו את כל ציוד העזר של קלט־פלט ושל אחסון נתונים המוכר. המערכת שהוזמנה מכילה 8 כוננים של סרטים מגנטיים, ציוד לניקוב וקריאה של כרטיסים ומדפסת.



C.D.C.-3400

PHILCO-2000

גודל הזכרון של מחשב זה נע מ־8,192 מילים עד 65,536 מילים. כל מילה מכילה 48 ספרות בינריות. המחשב מסוגל לחבר שני מספרים בני 48 ספרות בינריות כל אחד, ב־0,6 מיליונית השניה. מהירות המחשב נובעת מכושרו לבצע 4 פקודות מחשב במקביל.

החישוב נעשה בשיטה הבינרית ובשיטה מעריכית. אפשר להגיע לדיוק של שבר בן 71 ספרות בינריות. המחשב יכול לשמש גם לעיבוד נתונים בזמן המאורע (Real time) כמו כן יכול הוא להפעיל במקביל סוגים שונים של ציוד קלט וציוד פלט, תוך כדי פעולה שלו עצמו. למחשב זה קשור מחשב PHILCO-1000 המשמש לו כמכשיר קלט פלט.

מערכת המחשבים PHILCO-2000 ו־ PHILCO-1000 משרתת את משרד הבטחון על כל שלוחותיו.

I.B.M. 360 / דגם 50

במחשב I.B.M. 360 / דגם 50 באו לידי בטוי מספר תכונות חשובות: מודולריות של כל אחד מהמרכיבים של המערכת; זכרון קריאה פנימי בלתי פגיע (Read only Storage), שבו מקודדות תכניות המחשב לפענוח הפקודות ותכניות בקרה ופקוח של המעגלים הפנימיים. מהירותו גבוהה מאד לעומת הזכרון שבשליטת התכניתן; מערכת התערבות המאפשרת פעולות חופפות של יחידות קלט־פלט עם פעולות הזכרון ומערכת הגנה על חלקי זכרון שבשליטת תכניות שונות. וכתוצאה מכך אפשרות לבצע פעולות מקבילות.

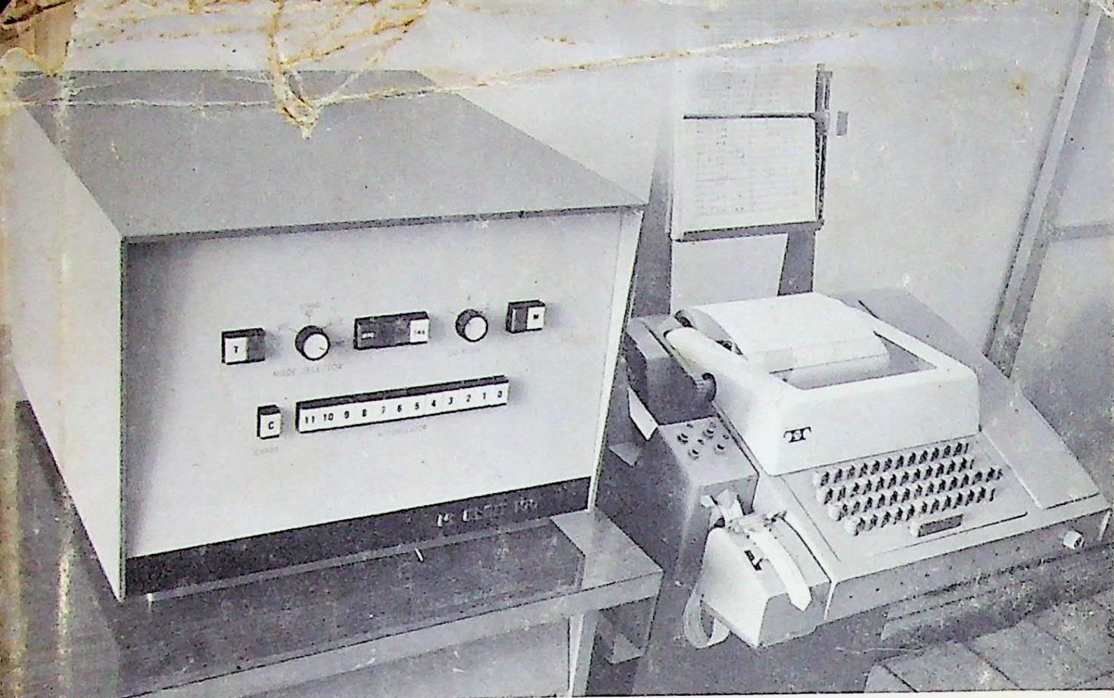
במערכת 360/50 ובמערכות גדולות יותר ניתן להרכיב זכרון נוסף המגיע לגודל של 8,000,000 תוים.



ג׳ימס ד. פינסטוק, מחבר ספר זה, **„מחשבים אלקטרו־ניים״** הנו מומחה נודע לתורת החשיבה האלקטרונית, ועי־בוד נתונים אוטומטי.

המחבר, מוסמך אוניברסיטת פורדו, ארה״ב (הנדסה אלק־טרונית), התמחה בעשר הש־נים האחרונות בהדרכה וב־יעוץ בתחומים אלה.

בתצלום: „אלביט־100״, מחשב ש־תוכנן ויוצר בארץ ע״י חב׳ אלביט, חיפה, לשיווק מסחרי וליצוא.



פרקי הספר